



UNIVERSIDADE DO MINDELO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA em ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2016/2017 – 4º ANO

**Tema: Dessalinização Via Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar
Fotovoltaica**

Autor: Carey Mckenly Neves Coelho, N.º 3205

Orientador: Prof. Doutor José Pedro de Barros Duarte Fonseca

Coordenação: João Dias, Ph.D

Mindelo, setembro de 2017

Licenciatura em Engenharia em Energias Renováveis

Carey Mckenly Neves Coelho

**Dessalinização Via Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar
Fotovoltaica**

Dissertação apresentada à
Universidade do Mindelo para a
obtenção do Grau de Licenciatura
em Engenharia em Energias
Renováveis.

Orientador: Prof. Doutor José Pedro de Barros Duarte Fonseca

Mindelo, setembro de 2017

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e por me ter proporcionado chegar até aqui, pois o caminho nem sempre foi fácil. A minha família por toda a dedicação, paciência e ajuda durante estes anos do curso, e principalmente nesta fase de conclusão do mesmo. Obrigada por não me deixarem desanimar e nem desistir, e por estarem sempre presentes.

Um especial obrigado ao meu orientador, Professor Doutor José Pedro de Barros Duarte Fonseca, pela disponibilidade, apoio e transmissão de conhecimento durante todo este período da realização deste trabalho.

Aos meus amigos que sempre perguntaram como andava o trabalho. Agradeço por se preocuparem tanto comigo, por demonstrarem sempre estar dispostos a me auxiliar e pelo interesse no que eu faço.

À todos que direta ou indiretamente estiveram comigo nesta grande caminhada, pois cada um de uma forma em particular me ajudaram e muito a ultrapassar inúmeros desafios e a chegar aqui. Agradeço pelas palavras de encorajamento, pelas ajudas para obtenção das informações necessárias, e por serem sempre exigentes comigo.

Sem vocês e sem a vossa ajuda, eu nunca poderia ter concluído os meus objetivos, um GRANDE OBRIGADO À TODOS.

Resumo

A escassez de água apresenta-se cada vez mais como um grande problema, exigindo soluções urgentes, fazendo-se sentir com maior intensidade nas regiões áridas e semiáridas, pois estas são caracterizadas pela variabilidade climática e pelos constantes períodos de seca, tornando-se um fator condicionante ao desenvolvimento socioeconómico dessas localidades. Deste modo o presente trabalho trata do estudo da tecnologia da dessalinização e da tecnologia fotovoltaica realizando um estudo da oferta de energia solar para acionamento de um sistema de dessalinização via osmose inversa, para obter água potável de qualidade para uso agrícola e consumo humano. A realização do trabalho centra-se em Cabo Verde, especificamente na ilha de São Vicente, escolhendo uma localidade remota, sem acesso à rede pública de abastecimento de água para instalação do sistema. O dimensionamento do sistema fotovoltaico é realizado utilizando o *software* HOMER para simulação e otimização do sistema de geração de energia, com base na potência requerida para funcionamento do sistema de dessalinização. Posteriormente, fez-se uma análise dos impactos da instalação, e verificação da viabilidade económica do sistema OI-FV, validando o uso das duas tecnologias.

PALAVRAS - CHAVE: Dessalinização, osmose inversa, energia fotovoltaica.

Abstract

Water scarcity is becoming more and more a problem, requiring urgent solutions, with greater intensity being felt in the arid and semiarid regions, as these are characterized by climatic variability and constant periods of drought, a factor conditioning the socioeconomic development of these localities. Thus, the present work deals with the study of desalination technology and photovoltaic technology by conducting a study of the supply of solar energy to drive a desalination system via reverse osmosis to obtain quality drinking water for agricultural use and human consumption. The work is focused on Cape Verde, specifically on the island of São Vicente, choosing a remote location, without access to the public water supply system for installation. The design of the photovoltaic system is performed using the HOMER software for simulation and optimization of the power generation system, based on the power required for the desalination system to operate. Subsequently, an analysis of the impacts of the installation and verification of the economic viability of the OI-FV system was carried out, validating the use of both technologies.

KEY WORDS: Desalination, reverse osmosis, photovoltaic energy.

Abreviaturas

CEDEAO – Comunidade Económica dos Estados da África Ocidental

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

ED – Eletrodiálise

ER – Energias Renováveis

ELECTRA – Empresa Pública de Eletricidade e Água

FV – Fotovoltaico

GWh – Gigawatt-hora

Hz – Hertz

kgf/cm² – Quilograma força por centímetros cúbicos

km² – Quilómetros quadrados

kPa – Kilopascal

kW/H – Kilowatt por Hora

kWh – Kilowatt-hora

kWh/m² – Kilowatt-hora por metros quadrados

kWh/m³ – Kilowatt-hora por metro cúbico

kWh/m²/ano – Kilowatt-hora por metro quadrado por ano

L – Litros

L/H – Litros por Hora

m – metros

m² – metros quadrados

m³ – metros cúbicos

m³/h – metros cúbicos por hora

mg/L – miligramas por Litros

mm – milímetros

MPa – Megapascal

µS/cm – microsiemens por centímetro

NRC – National Research Council

OI – Osmose Inversa

PAGIRE – Plano de Ação Nacional para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos

PALOP's – Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa

PERCV – Plano Energético Renovável de Cabo Verde

pH – potencial Hidrogeniônico

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

Psi – pound force per square inch (libras por polegada quadrada); 1 psi = 6,89Pa

RO – Reverse Osmosis

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

TCMA – Taxa de Crescimento Médio Anual

V – Volts

WHO – World Health Organization

Wh/m³ – Watt-hora por metros cúbicos

°C – Graus Celcius

Índice de figuras

Fig. 1 - O ciclo das águas	17
Fig. 2 - Esquema geral do princípio de dessalinização.....	18
Fig. 3 - Processos de separação térmica	20
Fig. 4 - Capacidades de separação dos processos de separação de membranas por pressão	23
Fig. 5 - Evolução da produção de água	26
Fig. 6 - Diagrama esquemático do processo de osmose.....	27
Fig. 7 - Osmose/osmose inversa.....	28
Fig. 8 - Exemplo de uma membrana enrolada em espiral	29
Fig. 9 - Esquema simplificado de osmose inversa com sistema de recuperação de energia	35
Fig. 10 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica	43
Fig. 11 - Formas do silício na natureza	44
Fig. 12 - Células de silício monocristalino.....	46
Fig. 13 - Células de silício policristalino.....	46
Fig. 14 - Módulo de silício amorfo.....	47
Fig. 15 - Tipos de sistemas fotovoltaicos	48
Fig. 16 - Constituição de um sistema fotovoltaico	50
Fig. 17 - Sistema fotovoltaico de bombagem de água.....	54
Fig. 18 - Localização de Cabo Verde	57
Fig. 19 - Enquadramento geográfico da ilha de São Vicente no arquipélago de Cabo Verde	59
Fig. 20 - Evolução histórica da procura total e da carga em ponta (São Vicente)	63
Fig. 21 - Repartição por setor da procura em 2009 (São Vicente)	64
Fig. 22 - Radiação solar global.....	66
Fig. 23 - Zonas de nebulosidade.....	66
Fig. 24 - Localização da Ribeira do Calhau, Madeiral e Calhau - São Vicente	73
Fig. 25 - Localização em 3D da localidade Ribeira de Calhau	73
Fig. 26 - Propriedade agrícola de Nhá Natália	74
Fig. 27 - Propriedade agrícola do Sr. Zeca Neves	75
Fig. 28 - Sistema de dessalinização via osmose inversa acoplado ao sistema solar fotovoltaico.....	77
Fig. 29 - Modelo RO-2000	79
Fig. 30 - RO Membrane Dow LCLE-4040	80
Fig. 31 - Radiação solar em kWh/m ² nos meses de janeiro a junho de 2012.....	82
Fig. 32 - Radiação solar kWh/m ² nos meses de julho a dezembro de 2012.....	83
Fig. 33 - Radiação solar anual (2012) na ilha de São Vicente em kWh/m ²	84
Fig. 34 - Dados de entrada da carga do sistema de dessalinização	86
Fig. 35 - Dados de entrada dos painéis fotovoltaicos.....	86
Fig. 36 - Dados de entrada do inversor.....	87
Fig. 37 - Dados de entrada do recurso solar com base na localização	87
Fig. 38 - Resultados da simulação	88

Índice de tabelas

Tab. 1 - Classificação da água em função da concentração de sólidos totais dissolvidos....	19
Tab. 2 - Processos de separação com membranas	22
Tab. 3 - Capacidade de produção (m^3/d)	26
Tab. 4 - Palatabilidade da água em função da concentração de sólidos totais dissolvidos ..	36
Tab. 5 - Combinações dos tipos de dessalinização e fontes de energias renováveis.....	41
Tab. 6 - Produção entregue à rede (kWh).....	62
Tab. 7 - Cenários de produção (São Vicente).....	65
Tab. 8 - Resumo das metas para as energias renováveis	68
Tab. 9 - Resultados das amostras.....	75
Tab. 10 - Guia de rejeição nominal da membrana.....	80
Tab. 11 - Dados do sistema fotovoltaico	85

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Abreviaturas.....	vi
Índice de figuras	viii
Índice de tabelas	ix
INTRODUÇÃO.....	13
JUSTIFICATIVA	14
CAPÍTULO I.....	16
1. ESTADO DA ARTE	16
1.1. Dessalinização	16
1.2. Tipos de dessalinização	19
1.3. Impactes da dessalinização.....	23
1.4. Dessalinização em Cabo Verde	25
1.5. A tecnologia de dessalinização por osmose inversa.....	27
1.5.1. Como funciona a osmose inversa	27
1.5.2. O fenómeno da osmose inversa	27
1.5.3. A membrana da OI	29
1.5.4. Componentes do sistema OI.....	30
1.5.5. Principais parâmetros do processo OI	33
1.5.6. Etapas numa Unidade de OI	34
1.6. Requisitos de palatabilidade	36
1.7. Consumo de energia na OI	37
1.8. Vantagens da dessalinização via OI	38
CAPÍTULO II.....	40
2. DESSALINIZAÇÃO E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS	40
CAPÍTULO III	43
3. A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA.....	43
3.1. Geração fotovoltaica.....	43
3.2. Tipos de células fotovoltaicas	45

3.3.	Classificação dos sistemas fotovoltaicos	47
3.4.	Componentes de uma instalação fotovoltaica	49
3.5.	Configurações básicas dos sistemas fotovoltaicos	50
3.6.	Vantagens e desvantagens da energia fotovoltaica.....	51
3.7.	Sistemas fotovoltaicos de bombagem.....	51
CAPÍTULO IV		56
4.	CABO VERDE.....	56
4.1.	Caraterização geográfica, climática e social.....	56
4.2.	Caracterização geográfica e climática da ilha de São Vicente no arquipélago de Cabo Verde	58
4.3.	Recursos hídricos.....	60
4.4.	Energia.....	61
4.4.1.	Evolução da procura na ilha de São Vicente	63
4.5.	Recurso solar em Cabo Verde	65
4.6.	As energias renováveis no arquipélago de Cabo Verde	66
4.6.1.	As metas para as energias renováveis no arquipélago.....	67
4.7.	Enquadramento legal	69
CAPÍTULO V		71
5.	METODOLOGIA.....	71
CAPÍTULO VI		72
6.	ESTUDO DE CASO – Abastecimento de água a propriedades agrícolas em São Vicente.....	72
6.1.	Enquadramento e localização	72
6.2.	Amostragem da qualidade da água salobra	74
6.3.	Sistemas de dessalinização por osmose inversa e painéis fotovoltaico.....	76
6.3.1.	Caraterísticas do sistema de dessalinização.....	78
6.4.	O dessalinizador	78
6.4.1.	Água de alimentação do sistema	79
6.4.2.	A membrana	80
6.4.3.	Bomba.....	80
6.5.	Caraterísticas do sistema fotovoltaico	81

6.5.1. Estudo do potencial solar na ilha de São Vicente.....	81
6.5.2. Dimensionamento do sistema fotovoltaico no HOMER	84
6.6. Análise do sistema	88
6.6.1. Impactes ambientais	88
6.6.2. Impactos sociais.....	90
6.6.3. Impactos económicos	90
6.6.4. Manutenção	91
6.6.5. Análise da viabilidade económica do sistema	92
CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	99

INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a redução da pobreza, proporcionando as pessoas elementos essenciais ao seu crescimento e desenvolvimento (WHO, 2003). A maior parte da superfície do planeta Terra é coberta por água (sendo que na sua maior percentagem é salgada ou salobra e a restante é de água doce), e a maior parte do corpo humano é composta de água, através destes dois factos mostram-se as ligações críticas entre a água e a saúde.

O arquipélago de Cabo Verde, sendo um país insular localizado no meio do Oceano Atlântico, dispõe de uma grande parte do seu território coberto de água salgada, que é imprópria para consumo humano. Relativamente aos recursos hídricos subterrâneos do país, a água subterrânea é uma boa alternativa, por ser livre de contaminação, no entanto a sua exploração se torna cada vez mais cara, porque a água de melhor qualidade está localizada em lençóis mais profundos. Na ilha de São Vicente, as técnicas para explorar água de poço profundo é cada vez mais frequente, porém, apresenta um grande inconveniente, pois a maior parte dos poços escavados e furos, apresentam água salobra, que também é imprópria para o consumo humano.

Com o objetivo de tratar a água salgada ou salobra de forma a torná-la apta para o consumo, e assim diminuir o problema da alta demanda, tem surgido tecnologias alternativas para aproveitar e transformar a vasta quantidade de água com diferentes níveis de salinidade. Por conseguinte, surge a tecnologia de dessalinização. Dos vários processos utilizados para dessalinizar a água, escolheu-se o processo de dessalinização via osmose inversa (OI), também denominada osmose reversa (OR), que é uma das opções mais económicas da atualidade na busca de uma solução para a escassez de água potável.

Para isso, pretende-se com esse trabalho aproveitar o grande potencial solar existente no país, especificamente na ilha de São Vicente, como fonte de energia do processo de dessalinização, e uma alternativa é utilização da energia solar fotovoltaica. Em que um sistema fotovoltaico, como fonte de potência elétrica, utiliza células fotovoltaicas para transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica (SOUZA, 2016).

Dado que, a intensidade da radiação solar influencia de forma direta a energia entregue ao sistema, e consequentemente, a quantidade de água dessalinizada. Conhecido o caudal necessário podemos dimensionar o sistema de dessalinização e o sistema fotovoltaico acoplado.

Objetivos

O objetivo geral deste projeto é avaliar a potencialidade da utilização da Energia Solar Fotovoltaica, através do desenvolvimento de um arranjo fotovoltaico adequado, como fonte de alimentação energética de um sistema de dessalinização descentralizada, por Osmose Inversa, para produção de água potável em habitações ou pequenos povoados. Pretende-se demonstrar que esta é uma alternativa para se alcançar a autonomia energética e também de abastecimento de água. Além disso poderemos obter resultados que validem esta tecnologia tanto a nível económico e dos impactes ambientais.

Para se alcançar o objetivo geral, propõem-se os objetivos específicos seguintes:

- Abordar a tecnologia de dessalinização via Osmose Inversa;
- Analisar a tecnologia solar fotovoltaica;
- Estudar a disponibilidade de radiação solar visando a demanda de energia do sistema;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico, acoplado a um sistema de bombagem e dessalinização capaz de produzir água potável (de qualidade); e
- Avaliar a produção de água, o consumo de energia e a viabilidade do sistema.

JUSTIFICATIVA

O problema da escassez dos recursos hídricos tem sido cada vez maior, principalmente em áreas isoladas. Para tal, é cada vez mais necessário encontrar tecnologias sustentáveis, como alternativa aos recursos existentes de água (FERNANDES, 2013). Portanto, a tecnologia de dessalinização é considerada uma solução viável, e assim dar resposta ao problema de abastecimento de água potável nos nossos dias.

Dentre as várias tecnologias de dessalinização, a Osmose Inversa (OI) e a Multi-Stage Flash (MSF) assumem o papel de maior destaque nesta técnica, porém a Osmose Inversa é a técnica, onde os impactos ambientais, os custos e o dispêndio energético são menores (ARAÚJO, 2013). Mesmo assim, a OI continua sendo um processo com elevado consumo energético.

Em Cabo Verde, o custo do processo de dessalinização é elevado, devido à dependência relativamente a geração de energia, à geração a diesel e a cara importação de gásóleo (BENITEZ *et al*, 2010). O consumo de energia na dessalinização passou de 7,4% em 2014 para 7,6% em 2015 (ELECTRA, 2015). Uma das alternativas é utilizar como fonte de alimentação energética a Energia Solar Fotovoltaica, para resolver este problema referente ao alto consumo energético deste processo.

A energia captada do Sol é uma das tecnologias mais relevantes para que se atinja um desenvolvimento sustentável. As vantagens da captação da energia através dos sistemas fotovoltaicos são a descentralização da geração, ficando acessível a qualquer local. Também a facilidade e baixo custo de instalação, bem como a longa duração e estabilidade de um sistema devidamente projetado proporcionam um bom retorno do investimento ao usuário. Em virtude das vantagens apresentadas, a tecnologia fotovoltaica torna-se viável para a utilização em sistemas de dessalinização, especialmente em habitações ou locais onde não há acesso a rede elétrica.

CAPÍTULO I

1. ESTADO DA ARTE

1.1. Dessalinização

A água como substância mais abundante do planeta Terra cobre cerca de 71% de sua superfície. Sobre a Terra o volume de água livre é estimado em 1.4 bilhões de km³, porém, a maior parte dessa água é salgada ou salobra detendo 97% desse volume. Os restantes 3% são de água doce, em que apenas 0,323% está disponível para consumo humano (BARROS, 2009). Do volume total de água doce, 77% está disposto nos glaciares e icebergs e 22% constituem a água subterrânea (NUNES *et al.*, 2009).

Devido à necessidade de separar o sal da água para aproveitar a grande quantidade de água contida nos oceanos, a redução da salinidade das águas salobras e reaproveitamento das águas residuais começou a ter resultados na Grécia antiga onde foram definidos os princípios para a separação de sal e água (MARACAJÁ, 2008). A dessalinização da água do mar tem sido desde há muito tempo considerada uma opção atrativa para a crescente demanda de água potável.¹

Segundo Lattermann & Hopner (2007 citado por Fernandes, 2013), atualmente, mais de 120 países têm unidades de dessalinização centralizada de larga escala, nomeadamente, os Estados Unidos, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Espanha e Austrália. Das 21,000 unidades de dessalinização, cerca de 50% utilizam água do mar como fonte de alimentação, e as restantes utilizam água salobra.

¹ Site: **Inovação e Tecnologia**. URL: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010170031001> Acedido em 29 de abril de 2017.

É importante salientar que a dessalinização é um processo que existe na natureza, que de forma sucinta começa com a evaporação da água dos oceanos, formando nuvens, condensando-se e cai sob a forma de chuva (precipitação) como mostra a figura 1.

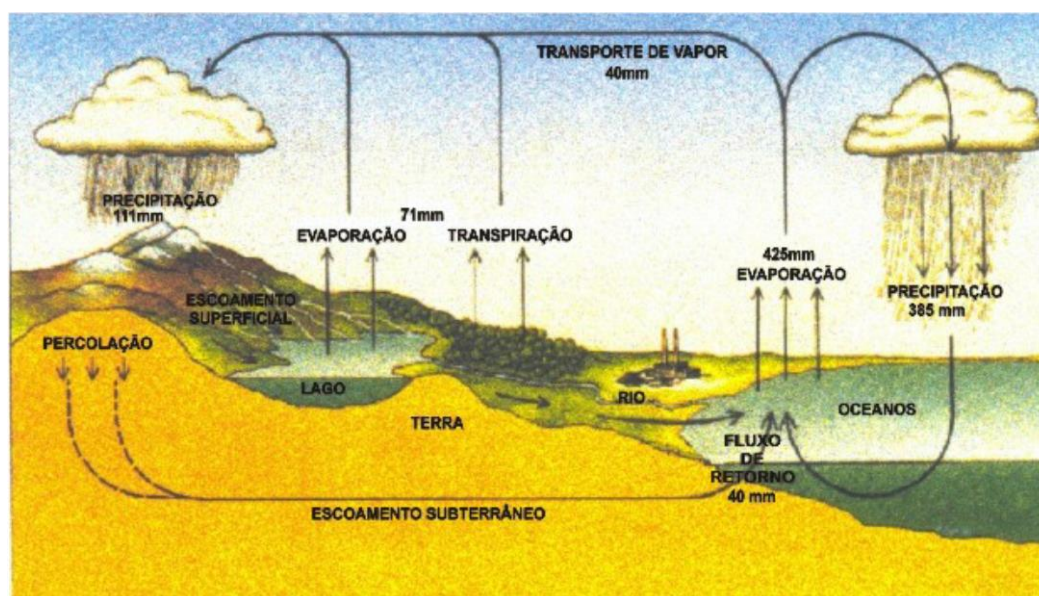


Fig. 1 - O ciclo das águas

(Fonte: Barros, 2009)

A tecnologia de dessalinização consiste na remoção ou diminuição da concentração de sais e sólidos totais dissolvidos (STD) da água salgada, seja ela proveniente do mar ou salobra, para obter água doce (ARAÚJO, 2013). Este processo também remove outros componentes químicos, orgânicos e biológicos. Segundo WHO (2007), “(...) is a highly developed and integrated set of processes that adds several dimensions of complexity beyond what is typically involved in the production of drinking water from fresh water sources”. ² A obtenção de água para consumo humano a partir de fontes de água doce (de nascentes, poços, etc), exige que se façam análises e se verifiquem determinados parâmetros que validem o uso da mesma para o consumo, enquanto que para a água obtida através da dessalinização, a água de alimentação (do mar ou salobra) deve ser submetida a alguns procedimentos ou etapas de tratamento e só depois se verifica se os parâmetros estão dentro do estabelecido.

² Traduzido do inglês pelo autor: “... é um conjunto altamente desenvolvido e integrado de processos que acrescenta várias dimensões de complexidade além do que é tipicamente envolvido na produção de água potável a partir de fontes de água doce.”

De acordo com Clayton (2015), todo o processo de dessalinização encontra-se baseado na tecnologia de engenharia química, em que há um caudal de água salgada que alimenta o sistema, aplica-se neste uma determinada energia em forma de calor, eletricidade ou pressão de água e há dois caudais de saída, que correspondem a água dessalinizada como produto pretendido e outro que é o concentrado ou rejeitado.

A figura 2 mostra de forma simplificada o processo de dessalinização.



Fig. 2 - Esquema geral do princípio de dessalinização

(Fonte: Adaptado de Clayton, 2015)

Uma das grandes características desse processo, e que lhe confere um grande potencial é a vantagem de conseguir processar a água proveniente de diversas fontes (ARAÚJO, 2013), fontes estas que se encontram com diferentes níveis de salinidade. Wangnick (2005 citado por Araújo, 2013) defende que 56% da capacidade de dessalinização é concebida para processar a água do mar e 24% da capacidade total permite processar água salobra e a restante capacidade de dessalinização tem origem em águas de outros tipos.

A dessalinização tem-se tornado uma solução para a grande problemática da escassez da água, porém o consumo de água duplicou em relação à taxa de crescimento da população, neste último século (ARAÚJO, 2013). Estima-se que cerca de 25% da população mundial não tem água doce disponível, e como tal não tem forma a suprir as suas necessidades básicas de sobrevivência. Muitos países já se encontram com graves problemas de escassez de água, prevendo-se que no futuro outros países terão que se deparar com essa realidade, principalmente a nível regional e local onde a disponibilidade deste recurso é menor (MATHIOULAKIS *et al*, 2007; PENÂTE, 2012).

Para amenizar este grave problema é necessário encontrar e implementar cada vez mais alternativas que permitam ultrapassar estas dificuldades.

A água do mar contém aproximadamente 35.100 mg/L de STD, de acordo com NRC (2008 citado por ARAÚJO, 2013), e para que estes sais possam ser removidos é necessário o envolvimento de tratamentos e processos eficazes para esse efeito. Das fontes de água utilizadas para dessalinização, são apresentadas as características segundo as concentrações de STD (Tab. 1).

Tab. 1 - Classificação da água em função da concentração de sólidos totais dissolvidos	
Classificação	Concentração de sólidos dissolvidos
Água potável	Menos de 1.000 mg/L
Água ligeiramente salobra	Entre 1.000 e 5.000 mg/L
Água moderadamente salobra	Entre 5.000 e 15.000 mg/L
Água altamente salobra	Entre 15.000 e 35.000 mg/L
Concentração média da água do mar	35.000 mg/L

(Fonte: NRC, 2004 encontrado in Silveira *et al*, 2015)

1.2. Tipos de dessalinização

Existem várias técnicas para dessalinizar a água salobra ou a água do mar. As tecnologias de dessalinização estão divididas em dois grupos de acordo com as características do processo: a) Processos Térmicos, nos quais a água é submetida à mudança de fase; b) Processo de Membranas, onde não há mudança de fase (MARACAJÁ, 2008; CLAYTON, 2015). De acordo com Kalogirou (2009), todos os processos requerem um pré-tratamento químico da água do mar bruta para evitar descamação, corrosão, crescimento biológico e incrustação, para além de também exigirem um pós-tratamento químico.

a) Processos Térmicos

O processo térmico corresponde ao processo natural do ciclo da água, ou seja, a água salgada aquece, evapora, condensa e precipita sob a forma de água potável. Porém, para evaporar a

água é preciso atingir uma temperatura adequada, e é necessário assegurar uma grande quantidade de energia para manter este processo (CRUZ, 2012).

A seguir são apresentados os processos que vêm sendo utilizados (Fig. 3):

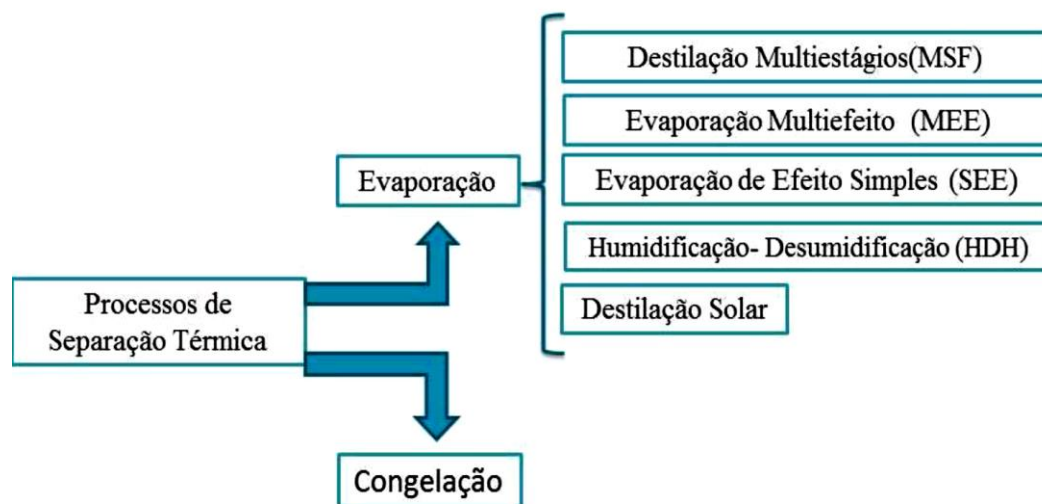


Fig. 3 - Processos de separação térmica
(Fonte: Fernandes, 2013)

Este é o processo mais comum na dessalinização e quase sempre é acoplado com unidades de geração de energia com base em turbinas de vapor ou gás (FERNANDES, 2013). Na técnica de congelação, esta é seguida de fusão dos cristais de água formados.

Estes métodos são frequentemente encontrados em países onde há grande disponibilidade de petróleo, que é geralmente o combustível utilizado para produzir eletricidade e fornecer energia ao processo (Guerreiro, 2009 citado por- CRUZ, 2012). A Multi-stage flash distillation (MSF) é a mais usada referente a este processo de dessalinização e é muito utilizada no Médio Oriente (FRITZMANN *et al*, 2007).

b) Processos por Membranas

O processo de dessalinização por membranas consiste na separação de sais presentes na água recorrendo à utilização de membranas semipermeáveis, que terá como produtos uma solução

baixa em salinidade e um concentrado (rejeitado) de elevada salinidade (ARAÚJO, 2013). Segundo Madaeni (1999 citado por Cruz, 2012) este processo é feito utilizando membranas sintéticas semipermeáveis que “filtram” os sais dissolvidos quando se aplica uma grande pressão ou uma diferença de potencial elétrico entre as superfícies das membranas. Membranas semipermeáveis são membranas que existem na natureza que têm a capacidade de deixar passar somente líquido, devido a isso foram desenvolvidas as membranas sintéticas, que são membranas osmóticas empregadas em dessalinizadores, imitam essas membranas naturais, separando o líquido dos sais. E estas são normalmente fornecidas para os fabricantes de dessalinizadores já na sua forma de utilização final, acondicionados em cilindros de diversas capacidades.³

Dentre os processos que vem sendo comercializados, a osmose inversa (OI) vem sendo considerado como o mais atrativo para a produção de água potável a partir da água salobra e do mar, e assim sendo colocado ao alcance do indivíduo, viabilizando novos projetos que antes eram impensáveis (Joyce *et al.*, 2001 citado por SOARES, 2008).

Uma membrana é uma fase, como já foi mencionado anteriormente, normalmente heterogênea, que funciona como uma barreira para o fluxo de espécies iônicas e moleculares presentes nos líquidos e vapores estão em contacto com as suas superfícies (CYTED, 1999 citado por FERNANDES, 2013).

As configurações de membranas que dominam o mercado, atualmente para fins de dessalinização de águas salobras e águas salinas por OI, são as membranas enroladas em espiral (MEE) e membranas de fibras ocas finas (MFOF). Outras configurações como tubulares e de placas planas são raramente utilizadas para dessalinização, normalmente são empregadas no processamento de alimentos e em outras aplicações industriais (SILVEIRA *et al.*, 2015).

Os processos de separação por membrana dividem-se em três grupos (FERNANDES, 2013):

³ Site: **AQUANET**. URL: <http://www.sattamini.com.br/Processo.html> Acedido à 29 de abril de 2017.

- **Filtração** - mecanismos que retêm as partículas maiores e deixam passar as mais pequenas. Utilizado para partículas em suspensão; Inclui a Microfiltração, a Ultrafiltração e a Nanofiltração;
- **Solução/Difusão** - membranas permeiam apenas o solvente e retêm o soluto. Utilizado para separar sólidos dissolvidos. Inclui Osmose e Osmose Inversa;
- **Electrodiálise** – em que há uma migração dos iões num campo elétrico.

Os tipos de membranas, as pressões normais de funcionamento e as suas aplicações, segundo os processos de separação, são referenciadas na tabela 2.

Tab. 2 - Processos de separação com membranas

Processo	Tipo de Membrana	Pressões	Aplicações
Microfiltração	Microporosa	0,1- 1 bar	Esterilização
	0.1 µm a 1µm		Clarificação
Ultrafiltração	Assimétrica	0.5-5 bar	Separação de Macromoléculas em solução
	Microporosa 1µm a 10 nm		
Nano Filtração	Assimétrica $5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ a $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$	10-40 bar	Separação parcial de sais em solutos orgânicos com menos de 1000 Dalton
Osmose Inversa	Assimétrica $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ a $10^{-4} \mu\text{m}$	20-100 bar	Separação de Sais e Microsolutos
Eletrodiálise	Permutadora de Iões 100 µm a 500 µm	Corrente elétrica	Dessalinização de soluções iónicas

(Fonte: Fernandes, 2013)

Comercialmente, utilizam-se as membranas em dois métodos de dessalinização importantes: a Eletrodiálise (ED) e a Osmose Inversa (OI). E ambos os sistemas utilizam a capacidade das membranas diferenciarem e seletivamente separarem os sais da água (Alves, 2007 citado por CRUZ, 2012). Contudo, a ED não remove substâncias orgânicas e microrganismos, portanto, a água dessalinizada não pode ser considerada potável pelo facto de a população de bactérias, cistos ou vírus não ter sido removida, como seria desejável. O consumo de energia aumenta muito com o aumento da concentração de sólidos suspensos dissolvidos (SILVEIRA *et al.*, 2015).

A figura a seguir faz a comparação entre os processos de separação, através da diferença de pressão aplicada em função das partículas e do tamanho molecular.

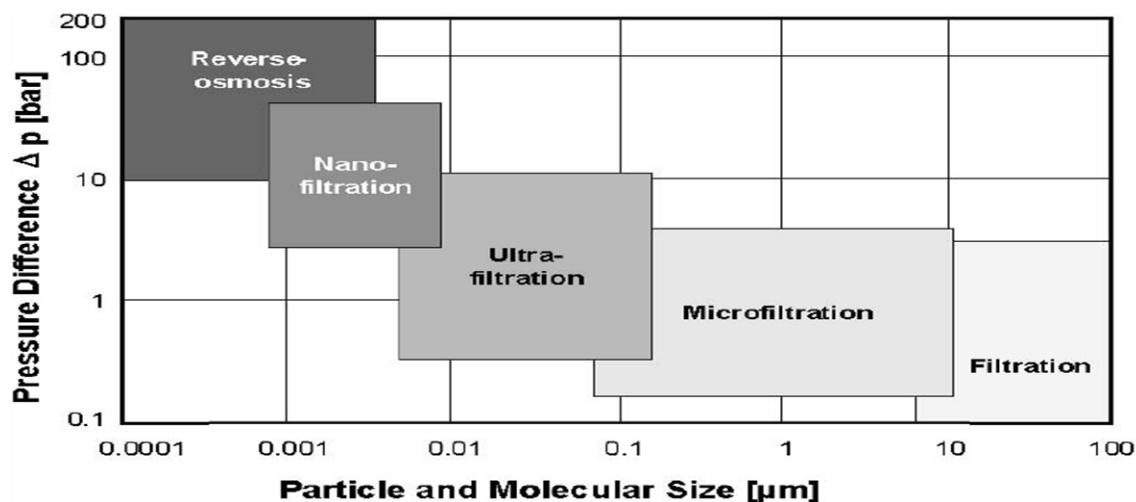


Fig. 4 - Capacidades de separação dos processos de separação de membranas por pressão
(Fonte: Fritzmann *et al*, 2007)

A figura 4 mostra as capacidades de separação de osmose inversa (ou osmose reversa – RO) e outros processos de separação de membrana por pressão utilizados no tratamento de água, nomeadamente a nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e filtração. Enquanto as membranas de microfiltração (MF) e de ultrafiltração (UF) são usadas para remover partículas coloidais finas (MF / UF), bactérias (MF / UF), vírus (UF) e moléculas maiores (UF) como proteínas, nanofiltração e osmose inversa são capazes de remover compostos ainda menores, como os sais dissolvidos (FRITZMANN *et al.*, 2007).

1.3. Impactes da dessalinização

Para Fernandes (2013), a análise dos impactes é muito importante para encontrar formas de diminuir as consequências negativas resultantes da dessalinização. Isto implica identificar e avaliar os potenciais impactes que a unidade de dessalinização pode causar, no local onde vai ser instalado. Os impactes associados às unidades de dessalinização são nomeadamente: os impactes relacionados com o modo de obtenção da água, impactes relativos à gestão e

deposição do rejeitado, qualidade de água dessalinizada e os impactes associados à emissão de gases.

Um dos principais impactes a serem considerados são relativos a destinação final do concentrado salino. Nos últimos anos foram publicados vários artigos sobre os impactes ambientais globais das centrais de dessalinização (SILVEIRA *et al.*, 2015). Uma das técnicas usadas para mitigar estes impactes, é recorrer a concentradores de salmoura, através de permutadores de calor e compressão de vapor. Younos (2005 citado por Araújo, 2013) acrescenta que é possível recuperar 95% da salmoura em água destilada, onde a concentração de STD é menor que 10 mg/L. Os restantes 5% são reduzidos a sólidos secos, que podem vir a ser reutilizados por empresas de manufatura de sal.

Segundo Silveira *et al.*, (2015) várias outras alternativas podem ser usadas para dar destino final ao concentrado. A descarga em águas superficiais, que inclui o seu lançamento em rios, lagos e marés, é a forma de disposição mais utilizada tanto no caso de dessalinização de águas salobras quanto em quase todas as centrais que tratam água do mar. Sendo assim as opções para o destino final do concentrado incluem:

- Descarga em águas superficiais;
- Mistura com o esgoto sanitário para ser processado em estações de tratamento;
- Injeção em poços profundos;
- Aplicação em solos agrícolas;
- Lagoas de evaporação/produção de sal.

A dessalinização também tem os seus impactes a nível socioeconómico, tais como, garantia ao acesso de água potável para abastecimento das comunidades, e consequentemente, o desenvolvimento industrial, agrícola e turístico da região onde o sistema está instalado (ARAÚJO, 2013).

1.4. Dessalinização em Cabo Verde

A dessalinização em Cabo Verde teve início em 1959, com a primeira unidade de dessalinização no Aeroporto Internacional da ilha do Sal com capacidade de 21.6 m³/dia. Aos poucos, a dessalinização tornou-se um imperativo para satisfazer as necessidades de água da crescente população urbana (SHAHIDIAN *et al.*, 2014).

Neste momento, existem 5 operadores que prestam serviço público no setor da produção da água dessalinizada para abastecimento às populações e à indústria, nomeadamente, a Electra S.A., as Águas de Ponta Preta Lda., as Águas de Porto Novo, Serviço Autónomo de Água e Saneamento do Maio e, por último, o Serviço Autónomo de Água e Saneamento de Santa Cruz. Estas unidades se distribuem pelas ilhas do Sal, Boa Vista, São Vicente, S. Antão (Porto Novo), Santiago e Maio (PAGIRE, 2010).

Relativamente a Electra S.A, empresa pública de produção e distribuição de água e eletricidade, ela dispunha de quatro centrais de produção de água dessalinizada distribuídas por São Vicente, Praia, Sal e Boa Vista (PAGIRE, 2010), passando a dispor atualmente de apenas três centrais de produção e distribuição de água circunscritas às ilhas de São Vicente, na cidade da Praia (ilha de Santiago) e Sal (ELECTRA, 2015). Segundo dados da Electra, para além de dispor das três centrais, ainda explorava seis furos de captação de água subterrânea. A dessalinização permitiu que, durante o ano de 2015, a água injetada nas redes representasse 93% do total produzido nas centrais, sendo que as águas subterrâneas foram captadas somente na ilha de Santiago para alimentar o sistema de distribuição de água na cidade da Praia (ELECTRA, 2015).

A tabela 3 apresenta a capacidade instalada nas centrais, em cada uma das três ilhas. Verifica-se na tabela que o processo de dessalinização praticado no arquipélago é a dessalinização via osmose inversa, correspondendo a unidades de produção de diferentes capacidades nominais, consequentes do tamanho da população a ser abastecida em cada ilha.

Tab. 3 - Capacidade de produção (m³/d)

Ilha/Unidade Produção	Dessalinização		Capacidade Nominal (m³/d)	Capacidade Garantida (m³/d)	Água Subterrânea (garantida) (m³/d)	Total (garantida) (m³/d)
	Processo	Designação				
	Osmose Inversa	RO1 -1000	1.000	1.000		1.000
	Osmose Inversa	RO2 -1000	1.000	1.000		1.000
	Osmose Inversa	RO3 -1000	1.000	1.000		1.000
	Osmose Inversa	RO4 -1200	1.200	1.200		1.200
	Osmose Inversa	RO5 -1200	1.200	1.200		1.200
	Osmose Inversa	RO6 -1200	1.200	1.200		1.200
Total S.Vicente			6.600	6.600		6.600
	Osmose Inversa	RO1 - 1000	1.000	1.000		1.000
	Osmose Inversa	RO2 - 1000	1.000	1.000		1.000
	Osmose Inversa	RO3 - 1200	1.200	1.200		1.200
	Osmose Inversa	RO4 - 1200	1.200	1.200		1.200
Total Sal			4.400	4.400		4.400
	Osmose Inversa	RO1 - 5000	5.000	5.000		5.000
	Osmose Inversa	RO2 - 5000	5.000	5.000		5.000
	Osmose Inversa	RO2 - 5000	5.000	5.000		5.000
	Furos				2.080	2.080
Total Praia			15.000	15.000	2.080	17.080
Total Electra			26.000	26.000	2.080	28.080

(Fonte: Relatório e Contas – ELECTRA, 2015)

Através da figura 5, é indicada a evolução da produção de água entre os anos de 2014 e 2015 e as contribuições de água dessalinizada e subterrânea.

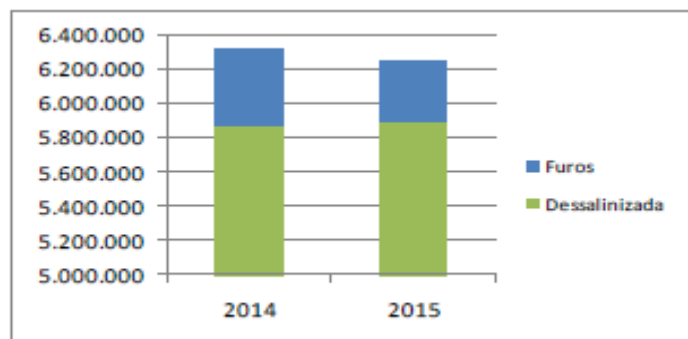


Fig. 5 - Evolução da produção de água
(Fonte: Relatório e Contas – ELECTRA, 2015)

A produção de água diminuiu 1.1% entre o ano de 2014 e de 2015, derivado a redução de captação de água subterrânea.

1.5. A tecnologia de dessalinização por osmose inversa

1.5.1. Como funciona a osmose inversa

Segundo Silveira *et al.*, (2015) é um processo que utiliza a pressão hidráulica para forçar a passagem da água de alimentação por uma membrana semipermeável, dando origem a dois fluxos: o permeado (água pura) e o outro de concentrado (salmoura ou água mais concentrada em sais do que a água bruta de alimentação).

1.5.2. O fenómeno da osmose inversa

A osmose é um fenómeno natural que ocorre quando existem dois compartimentos separados por uma membrana semipermeável, que permite que o movimento se dê da solução menos concentrada para a solução mais concentrada. A figura a seguir mostra de forma simplificada como este acontece.

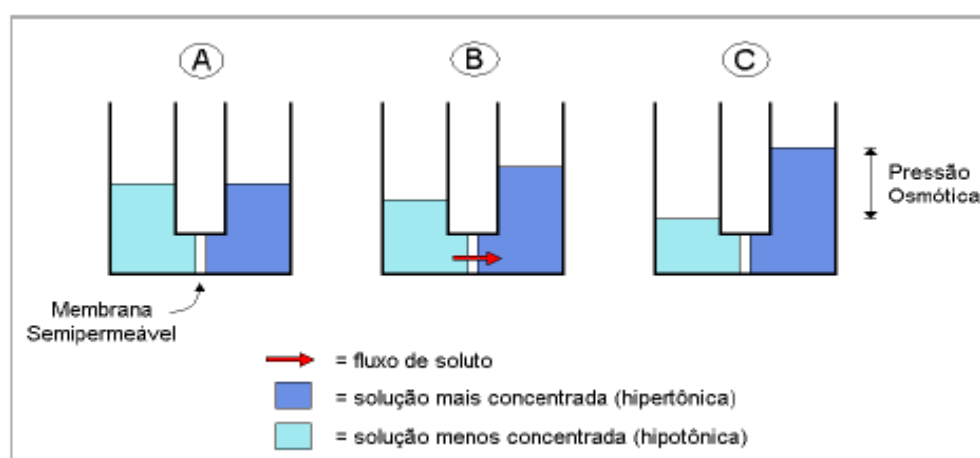


Fig. 6 - Diagrama esquemático do processo de osmose

(Fonte: Rosa, 2013)

No esquema temos em A uma situação inicial com duas soluções aquosas com concentrações diferentes separadas por uma membrana semipermeável. Em B, pode-se observar a passagem do soluto do meio hipotônico para o meio hipertônico, e em C é alcançado o equilíbrio e a diferença entre a pressão de cada compartimento representa a pressão osmótica (ROSA, 2013).

A osmose inversa é um processo induzido que ocorre quando se aplica uma pressão no lado da solução mais salina ou mais concentrada, revertendo-se a tendência natural. Neste caso, a água da solução salina passa para o lado da solução menos concentrada, ficando retidos os íons dos sais nela dissolvidos. A água obtida é denominada de permeado, ou produto, e a solução concentrada de concentrado, ou rejeito ou salmoura (Joyce *et al.*, 2001 citado por MARACAJÁ, 2008).

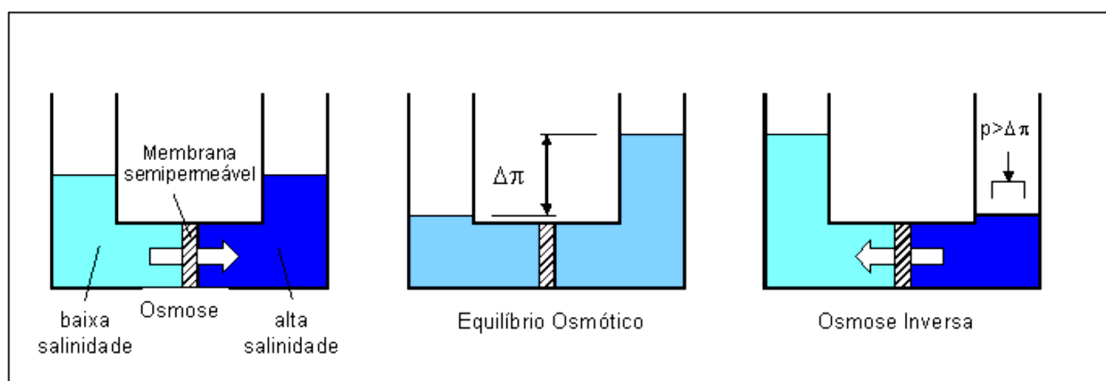


Fig. 7 - Osmose/osmose inversa
(Fonte: Maracajá, 2008)

A figura mostra na última imagem como se dá o processo inverso da osmose. Em processos de grande escala isso ocorre com um auxílio de uma bomba de alta pressão, sob um fluxo contínuo, passando por um permeador, onde fica situada a membrana, a pressão a ser aplicada equivale a uma pressão maior que a pressão osmótica característica da solução. Para a dessalinização de água salobra a pressão de operação é na ordem de 17 kgf/cm² (1.724 kPa) a 27 kgf/cm² (2.758 kPa) e para a água do mar essa pressão é na faixa de 54 kgf/cm² (516 kPa) a 68 kgf/cm² (6.895 kPa) (MOHSEN & JABER, 2001).

1.5.3. A membrana da OI

As membranas utilizadas nos processos de OI são geralmente fabricadas de poliamidas ou de produtos da celulose. O acetato de celulose ainda é utilizado na fabricação das membranas tanto de fibras planas como de fibras ocas, no entanto o composto de poliamida, usado na fabricação de membranas de fibras planas por vários fabricantes, domina atualmente a tecnologia de membrana (SILVEIRA *et al.*, 2015).

As membranas poliméricas do tipo *thin film composite* (filme fino composto) são as mais amplamente utilizadas e constituídas por uma camada suporte mais porosa e espessa de polisulfona obtida pelo processo de inversão de fases, sobre a qual se polimeriza uma camada ativa ultrafina de poliamida (ROSA, 2013). O autor acrescenta que a unidade operacional na qual as membranas são mantidas para uso é conhecida como módulo e é constituída pela membrana, a estrutura para suportar as pressões de trabalho e dispositivos de entrada e saída. Na OI, normalmente são utilizadas as membranas enroladas em espiral, ou seja, membranas planas enroladas a volta de um tubo perfurado, com a utilização de espaçadores para formar os canais de escoamento e aumentar a turbulência do fluxo, de forma a diminuir problemas de formação de depósitos sobre a membrana.

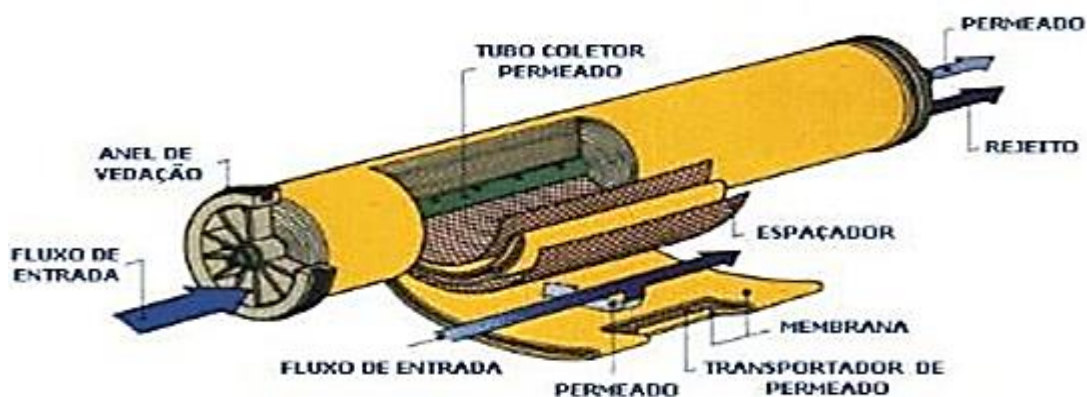


Fig. 8 - Exemplo de uma membrana enrolada em espiral

(Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgOwoAD/artigo-tecnico-osmose-reversa-entenda-seu-funcionamento-2>)

As principais características que diferenciam os módulos de membranas enroladas em espiral dos demais tipos de módulos (placas planas, de fibra oca e tubulares), são o alto grau de empacotamento das membranas (tipicamente, 1.000 m² de membrana por metro cúbico de módulo) e o facto do volume de fluído mantido no interior do módulo ser baixo (ROSA, 2013).

1.5.4. Componentes do sistema OI

Membranas Poliméricas

Dentre os componentes do sistema, como já foi referido anteriormente, as membranas poliméricas são as mais utilizadas para o processo. No entanto para Ribeiro (2009), as membranas semipermeáveis são frágeis e variam na capacidade de passar água doce e rejeitar a passagem de sais, porém nenhuma membrana é perfeita na sua capacidade de rejeição de sais, de modo que uma pequena quantidade de sais passa através da membrana e aparece na água produto.

Válvulas de Controlo

As válvulas empregadas em sistemas de transmissão hidráulicas, podem ser divididas em três categorias (RIBEIRO, 2009):

- Controlos de pressão;
- Controles de vazão;
- Controlos direcionais.

A função das válvulas de controlo de pressão é controlar as pressões no sistema de potência fluida, estes podem ser utilizados para reduzir, aliviar ou ajustar as pressões. Nos sistemas OI são usadas válvulas de controlo de pressão, as quais regulam a pressão de alimentação, controlando a vazão do concentrado, sendo que a pressão de alimentação, determina a qualidade da água produzida (RIBEIRO, 2009). Através do registo das pressões em cada etapa, é possível verificar as “condições de trabalho” do sistema, podendo haver necessidade

de fazer alguma manutenção, de modo que o processo se realize de forma normalizada e eficiente.

Motor Elétrico

As máquinas elétricas, para além de poder distinguir dois elementos principais, que são o rotor (parte móvel, girante) e o estator (parte fixa), estas também são classificadas de acordo com o princípio de funcionamento, que estão divididas em (RIBEIRO, 2009):

- Máquinas de corrente contínua;
- Máquinas assíncronas;
- Máquinas síncronas.

a) Motor Corrente Contínua

O princípio de funcionamento do motor de corrente contínua (motor CC) baseia-se no conceito de comutação, sendo que a comutação é definida como o processo de conversão de tensões e correntes alternadas no rotor de uma máquina CC para tensão e corrente unidirecional nos terminais da máquina CC ou vice-versa (RIBEIRO, 2009). De acordo com o mesmo autor, os motores CC são compatíveis com a fonte de energia fotovoltaica, porém, seu custo inicial é elevado e necessitam de manutenção periódica em virtude das escovas, sendo que os motores com escovas operam por longos períodos, logo as escovas utilizadas devem ser substituídas periodicamente.

b) Motor de Indução

Segundo Ribeiro (2009), motor de indução é o tipo de motor elétrico mais utilizado e difundido, tanto para motorização de sistemas, quanto para processos industriais, tendo como principal vantagem a eliminação do atrito de todos os contatos elétricos deslizantes e uma construção bastante simples. Os motores de indução são o tipo mais comum de motor de corrente alternada, e os motores CA adicionam complexidade aos sistemas fotovoltaicos, pois exigem a inclusão de um inversor para transformar a corrente contínua, proveniente dos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada, entretanto apresentam custos mais baixos relativo aos motores CC (RIBEIRO, 2009).

Bombas

Bomba é um dispositivo que adiciona energia aos líquidos e a sua finalidade é facilitar o movimento destes. A energia é tomada de um eixo, de uma haste ou de um outro fluido e transmitida através do aumento de pressão, aumento de velocidade ou ainda aumento de elevação ou combinação destas formas de energia (PEREIRA, 2010).

As bombas são normalmente classificadas pela forma como a energia é entregue ao fluido, deste modo tem-se (RIBEIRO, 2009):

- **Bombas volumétricas ou rotativas** – Também chamadas de deslocamento positivo, que é um termo genérico para caracterizar bombas onde o fluido na entrada do sistema tem aproximadamente a mesma direção que no ponto de saída do mesmo. O movimento do fluido é causada pela ação do órgão de impulsão da bomba que obriga o fluido a executar a mesma movimentação a que está sujeito este impulsor (engrenagens, palhetas). Denomina-se volumétrica porque o fluido ocupa e desocupa espaços no interior da bomba de forma sucessiva, sendo que o movimento geral deste fluido dá-se na mesma direção das forças a ele transmitidas. Em aplicações para bombeamento fotovoltaico, utilizam-se os tipos de bombas helicoidal e de diafragma.
- **Bombas centrífugas** – Estas possuem um dispositivo rotatório dotado de pás, denominado rotor, a qual transfere movimento de rotação para a massa de água contida na carcaça, desta forma a água é forçada para fora da carcaça através das aberturas de saída, devido a força centrífuga. Em consequência, o vácuo criado possibilita a pressão atmosférica a forçar mais água para dentro da carcaça através da abertura de entrada. O processo é contínuo, enquanto perdurar o movimento do rotor, e enquanto for possível a alimentação de água.

Embora existe uma infinidade de tipos de bombas, estas de uma forma geral apresentam as seguintes características (PEREIRA, 2010):

- Resistência: adequadas para resistir aos esforços mecânicos provenientes da operação;

- Facilidade de operação: adaptáveis às mais diversas fontes de energia;
- Manutenção simplificada;
- Alto rendimento: transformação de energia com o mínimo de perdas;
- Economia: custos de aquisição e operação compatíveis com as condições de mercado.

1.5.5. Principais parâmetros do processo OI

A osmose inversa é um processo que é definido pelos seguintes parâmetros (FERNANDES, 2013):

- **Pressão Osmótica** - É a pressão necessária para que o potencial químico da água na solução de alimentação seja elevado ao valor do da água pura à pressão atmosférica.

$$\text{Pressão Osmótica (} \Pi \text{)} = R T \sum X_i \quad (1)$$

em que:

R = constante dos gases = 8,314 kPa m³/ kmol K;

T = Temperatura (K);

$\sum X_i$ = concentração de todos os constituintes na solução (kmol).

- **Taxa de Rejeição** - Esta taxa exprime eficiência da Membrana para remover os sais da água. Obtém-se dividindo a diferença entre a concentração de sais da água de alimentação e a concentração do permeado, e a concentração de sais na água de alimentação.

$$SR = 100 \times \left[1 - \frac{X_p}{X_f} \right] \quad (2)$$

em que:

X_p = concentração do permeado;

X_f = concentração da água de alimentação

- **Taxa de recuperação do Permeado** - Indica a proporção de água de alimentação que é convertida em água doce (permeado). Obtém-se dividindo a diferença entre a taxa de fluxo da água de alimentação e a taxa de fluxo do permeado, e a taxa de fluxos na água de alimentação.

$$R = 100 \times \left[1 - \left(\frac{M_p}{M_f} \right) \right] \quad (3)$$

em que:

M_p = taxa de fluxo do permeado;

M_f = taxa de fluxo da água de alimentação.

- **Balanco de Massa** - O balanço de massa para um sistema de dessalinização é dado ou indicado pela equação seguinte (RIBEIRO, 2009):

$$Q_a C_a = Q_p C_p + Q_c C_c \quad (4)$$

em que:

Q_a – vazão de alimentação (m³/h);

C_a – concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L);

Q_p – vazão do permeado (m³/h);

C_p – concentração de sais dissolvidos na corrente de permeado (mg/L);

Q_c – vazão do concentrado (m³/h);

C_c – concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/L).

1.5.6. Etapas numa Unidade de OI

O processo de dessalinização segue um conjunto de etapas, que são comuns a todas as unidades de dessalinização independentemente do tipo de tecnologia que é utilizada. No entanto, uma planta de dessalinização via OI compreende algumas etapas específicas ao processo.

As etapas são apresentadas de forma simplificada, no esquema a seguir apresentado (Fig. 9):

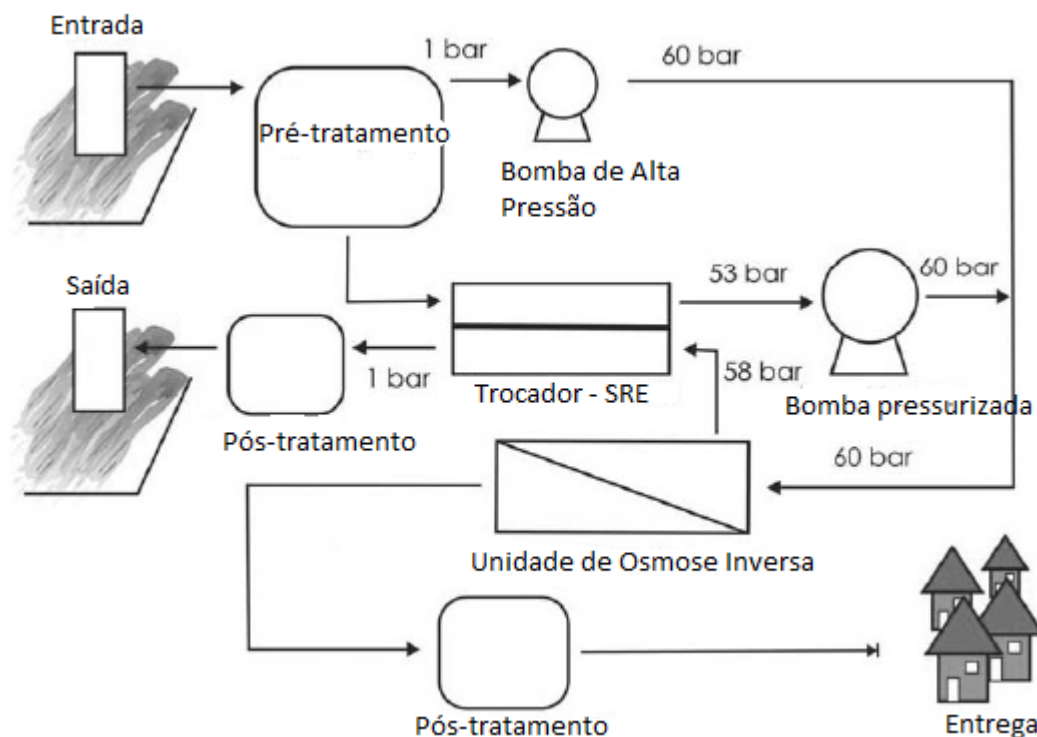


Fig. 9 - Esquema simplificado de osmose inversa com sistema de recuperação de energia

(Fonte: Adaptado de Fritzmann *et al.*, 2007)

Fritzmann *et al.*, (2007) explica cada uma destas etapas, de acordo com a ordem que estas seguem:

- I. **Captação da água** - A abstração de água de alimentação pode ser realizada através de poços de costa e de praia ou através de sistemas abertos de admissão de água do mar. Os poços da costa e da praia fornecem água de melhor qualidade com menos turbidez, algas e sólidos dissolvidos totais do que as entradas abertas de água do mar, mas requerem mais espaço. Na dessalinização de água salobra, os poços são usados para água de alimentação.
- II. **Pré-tratamento** - Inclui todas as atividades para ajustar a água de admissão em constituição e valor de pH. A matéria particulada é removida da água de alimentação e os produtos químicos são adicionados para evitar escalas e incrustação.

- III. **Sistema de bombeamento** - É necessário para superar as diferenças de altura dentro da cadeia de distribuição e aplicar a pressão necessária a alimentação.
- IV. **Unidade de separação de membrana** - A membrana é capaz de separar o sal da água com uma rejeição de 98-99,5%, dependendo das membranas em uso
- V. **Sistema de recuperação de energia** - É responsável pela transferência de energia potencial do concentrado para a alimentação. Os atuais sistemas de recuperação de energia, como os permutadores de trabalho, operam com eficiências de até 96%
- VI. **Pós-tratamento** - O permeado é re-mineralizado, re-endurecido, desinfetado por cloração e ajustado aos padrões de água potável.
- VII. **Sistema de controlo** - Um sistema de controlo mantém uma produção contínua e confiável.

1.6. Requisitos de palatabilidade

A água dessalinizada, independentemente da fonte de alimentação utilizada para a obter, segue recomendações de palatabilidade, em função da concentração de sólidos totais nela dissolvida, como é apresentado a seguir na tabela 4.

Palatabilidade	Concentração de sólidos dissolvidos
Excelente	Até 300 mg/L
Boa	Entre 300 e 600 mg/L
Razoável	Entre 600 e 900 mg/L
Ruim	Entre 900 e 1.200 mg/L
Inaceitável	Acima de 1.200 mg/L

(Fonte: WHO, 1984 encontrado in Silveira *et al.*, 2015)

Soares (2008) defende que o patamar máximo para considerar a água doce é de 500 mg/L de STD, e entre 500 e 3000 mg/L para considerá-la salobra, e acima disso é salgada. Enquanto, que a WHO (2007) considera que concentrações de salinidade abaixo dos 1000 mg/L, o que já não vai de encontro com a tabela acima, é aceitável para consumo. No entanto, é importante salientar que a quantidade de STD presentes na água doce vai depender do destino ou

utilização final dada a esta água. A água dessalinizada é normalmente mais pura do que a especificada para a água potável, por isso, se for para consumo humano, pode ser misturado com água que contém níveis mais elevados de STD (CLAYTON, 2015). A WHO (2007) acrescenta, que os sistemas de produção de água doce devem se esforçar para produzir e distribuir aos consumidores água que atenda as especificações de qualidade.

1.7. Consumo de energia na OI

O consumo de energia elétrica nos processos OI está diretamente relacionado com o sistema de bombeamento. Nos últimos dez anos, a pressão líquida necessária para possibilitar a permeação (PLNP) foi reduzindo significativamente, e a necessidade de energia elétrica nesses processos também têm vindo a diminuir bastante (SILVEIRA *et al.*, 2015). No entanto, o consumo de energia também está relacionada com a concentração da água de entrada, pois quanto maior for a concentração maior será a energia mínima teórica necessária para a sua dessalinização. Para a água do mar, que apresenta um valor médio de salinidade da ordem de 35.000 mg/L, esse fica em torno de 0,7 Wh/m³ (ROSA, 2013). Segundo o mesmo autor para a água salobra, os valores de energia mínima teórica necessária para dessalinização são menores do que a da água do mar.

A maior parte do consumo de energia em um sistema de dessalinização é devido à parcela necessária para transferir as espécies iônicas da solução através das membranas e aquela desprendida para bombear as soluções da unidade de dessalinização. O consumo de energia está diretamente relacionado com o nível de recuperação do sistema de dessalinização e a eficiência da bomba e do motor trabalhado, como também o número de membranas envolvidas e das soluções no interior do dessalinizador (MARACAJÀ, 2008). Valores típicos de consumo de energia para alimentação de bombas para OI tratando da água salobra estão na faixa de 0,5 kWh/m³ a 2,0 kWh/m³. Para dessalinização da água do mar por OI, atualmente o consumo de energia é em geral menor que 3 kWh/m³ se utilizados dispositivos de recuperação de energia, normalmente são utilizados dispositivos que aproveitam a pressão de retorno do concentrado (SILVEIRA *et al.*, 2015).

O termo recuperação (R) é utilizado para descrever a eficiência do processo em termos de rendimento e geralmente medido como a fração da água de alimentação recuperada do permeado, isto é (SILVEIRA *et al.*, 2015):

$$R = \left(\frac{Q_{perm}}{Q_{alim}} \right) \times 100 (\%) \quad (5)$$

em que:

Q_{Perm} = vazão do permeado (m^3/s);

Q_{Alim} = Vazão de alimentação (m^3/s).

Segundo Silveira *et al.*, (2015) a recuperação de energia tem-se tornado bastante comum nos projetos de sistemas de dessalinização de água do mar por OI, podendo-se recuperar entre 25% e 35% da energia de entrada. Há quatro tipos básicos de equipamentos: roda Pelton, permutador de trabalho e turbocompressor hidráulico.

A recuperação máxima em qualquer instalação de OI depende dos componentes presentes na água de alimentação, da pressão aplicada, da área de transferência de massa e do tipo de membrana utilizada no processo (Silveira, 1999 citado por RIBEIRO, 2009). Segundo este autor, a produção de água potável é diretamente proporcional ao gradiente de pressão aplicado ao meio. Quanto maior a pressão de operação maior a recuperação e consequentemente maior tendência de formação de incrustações na superfície da membrana, o que resulta em um aumento no gradiente de pressão no interior da membrana e redução de permeabilidade e qualidade de água dessalinizada.

1.8. Vantagens da dessalinização via OI

A osmose inversa apresenta a grande vantagem de não necessitar de aquecimento, além de poder ser ajustado para fornecer como produto água com teor de sais adequado para o consumo humano (ROSA, 2013). De acordo com Habert *et al.*, (1997 citado por Maracajá,

2008) a osmose inversa tem-se mostrado como um dos processos da atualidade mais modernos para dessalinização de águas salobras e água do mar.

As membranas de OI, além de reduzir os micro solutos dissolvidos com peso molecular inferior a 500 g/mol, são também capazes de diminuir da água (MARACAJÁ, 2008):

- Sais e dureza;
- Microrganismos em geral e patogênicos em particular;
- Turbidez;
- Compostos orgânicos;
- Pesticidas.

CAPÍTULO II

2. DESSALINIZAÇÃO E AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

As centrais de dessalinização requerem quantidades significativas de eletricidade e calor dependendo do processo, temperatura e qualidade da água da fonte. De acordo com WHO (2007), estima-se que uma central que produza cerca de 26.500 m³ de água por dia poderia exigir cerca de 50 milhões de kWh/ano, o que seria semelhante às demandas de energia de uma refinaria de petróleo ou de uma pequena central siderúrgica.

O mercado da dessalinização cresce de forma exponencial, esperando-se que até 2015 duplicasse a capacidade de produção instalada (ARAÚJO, 2013). No entanto este é um processo com um elevado consumo energético, o aumento das unidades a larga escala, terá como consequência impactos ambientais relacionados com a emissão de gases com efeito de estufa resultante da utilização dos combustíveis fósseis (BILTON, 2011; EL-GHONEMY, 2012).

Investigações na área da dessalinização têm evoluído na perspetiva de aumentar a eficiência energética e diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, através da associação do processo de dessalinização com fontes de energias renováveis (PENÃTE, 2012). Em locais muito distantes das cidades, desprovidos de energia elétrica convencional, o custo da utilização de energia fotovoltaica e/ou eólica já é competitivo com a energia elétrica convencional, devido à distância do local para chegar com toda a fiação elétrica. E a utilização dessa energia poderá ter outras finalidades além do sistema de dessalinização (MARACAJÁ, 2008).

Ao longo das últimas décadas, foram construídos inúmeros sistemas de dessalinização utilizando ER. Quase todos esses sistemas foram construídos como projetos de pesquisa ou demonstração e, portanto, de pequena capacidade. E têm vindo a ser implementadas em centrais em construção e testes (KALOGIROU, 2009).

As fontes de energias renováveis mais comuns que estão associadas aos processos de dessalinização são, a energia solar (fotovoltaica e térmica), a eólica e energia geotérmica. Entre estas, a energia solar fotovoltaica (ESF) é considerada uma solução adequada para pequenas aplicações em áreas com grande insolação. Para unidades de dessalinização de maiores dimensões, a energia eólica pode ser mais vantajosa, principalmente no caso das regiões insulares onde há um bom regime de vento e pouco terreno plano (MATHIOULAKIS *et al.*, 2007). Quanto à energia solar existem três maneiras em como esta é utilizada para dessalinizar a água do mar, nomeadamente humidificação solar, destilação solar e fotovoltaica (MOHSEN & JABER, 2001).

Na tabela seguinte são apresentadas as principais combinações entre as tecnologias de energias renováveis e as tecnologias de dessalinização.

Tab. 5 - Combinações dos tipos de dessalinização e fontes de energias renováveis

Fontes de Energias Renováveis	Salinidade da água de alimentação	Tecnologias de dessalinização
Solar térmica	Água do mar	Evaporação Multi-efeito (MEE)
	Água do mar	Destilação Multi-efeito (MSF)
Solar fotovoltaica	Água do mar	Osmose inversa (OI)
	Água Salobra	Osmose inversa (OI)
	Água Salobra	Eletrodíálise (ED)
Energia eólica	Água do mar	Osmose inversa (OI)
	Água salobra	Osmose inversa (OI)
	Água do mar	Compressão mecânica a vapor (MVC)
Geotérmica	Água do mar	Evaporação Multi-efeito (MEE)

(Fonte: Adaptado de Kalogirou, 2009)

Analisando a tabela 5, pode-se concluir que relativamente a tecnologia de osmose inversa, as tecnologias usadas como fontes energéticas são a energia solar fotovoltaica e eólica, independentemente da salinidade da água de alimentação utilizada no processo.

Relativamente a energia solar fotovoltaica, embora a osmose inversa e as células fotovoltaicas sejam cada vez mais usadas em todo o mundo, a sua combinação é recente (Carvalho, 2000 citado por SOARES, 2008). A sua utilização para dessalinizar água do mar e água salobra foi encontrada em algumas regiões remotas da Índia, América Latina, África, Austrália e outras. O número de aplicações cresce aceleradamente, devido à necessidade de água potável para consumo humano (MOHSEN & JABER, 2001).

Nem todas as combinações de sistemas de dessalinização dependentes de energias renováveis são considerados adequados para aplicações práticas, muitas destas combinações podem não ser viáveis em determinadas circunstâncias. É frequente que o desenvolvimento avançado das tecnologias associadas não corresponde ao baixo nível de infra-estruturas que caracteriza os locais com recursos hídricos limitados. A experiência tem demonstrado que as várias tentativas de integração de soluções avançadas de dessalinização falharam, em áreas isoladas, devido à falta de suporte técnico (MATHIOULAKIS *et al.*, 2007). Para avaliar a viabilidade da combinação de diferentes tecnologias, deve-se ter em consideração vários fatores, tais como, as condições geográficas, a topografia do local, a capacidade e o tipo de energia disponível ao mais baixo custo de fornecimento, disponibilidade de infra-estruturas locais, incluindo rede elétrica, a dimensão da unidade de produção de água e a salinidade da água a tratar (SOARES, 2008).

Segundo França *et al.*, (2000 citado por Soares, 2008), existem diferentes simuladores que estão disponíveis para modelar a eficiência, as necessidades energéticas e, finalmente, o custo e as limitações de produção de água potável, utilizando sistemas de dessalinização de osmose inversa de pequeno porte. E um sistema de dessalinização usando energia solar fotovoltaica, para ser económico, requer um projeto do sistema extremamente eficiente em termos de consumo de energia, tendo em vista os custos relativamente altos dos módulos fotovoltaicos.

CAPÍTULO III

3. A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

3.1. Geração fotovoltaica

As células fotovoltaicas são a base para a transformação da energia solar em energia elétrica. Seu funcionamento é baseado no efeito fotovoltaico, que foi relatado em 1839 por Edmond Becquerel, sendo definida como o aparecimento de diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, que é produzida pela absorção de luz (FERREIRA & SILVA, 2010). Com o descobrimento do transistor por Shockley em 1949, fatos que marcaram o início da era do semicondutor, possibilitou o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica (SOARES, 2008).

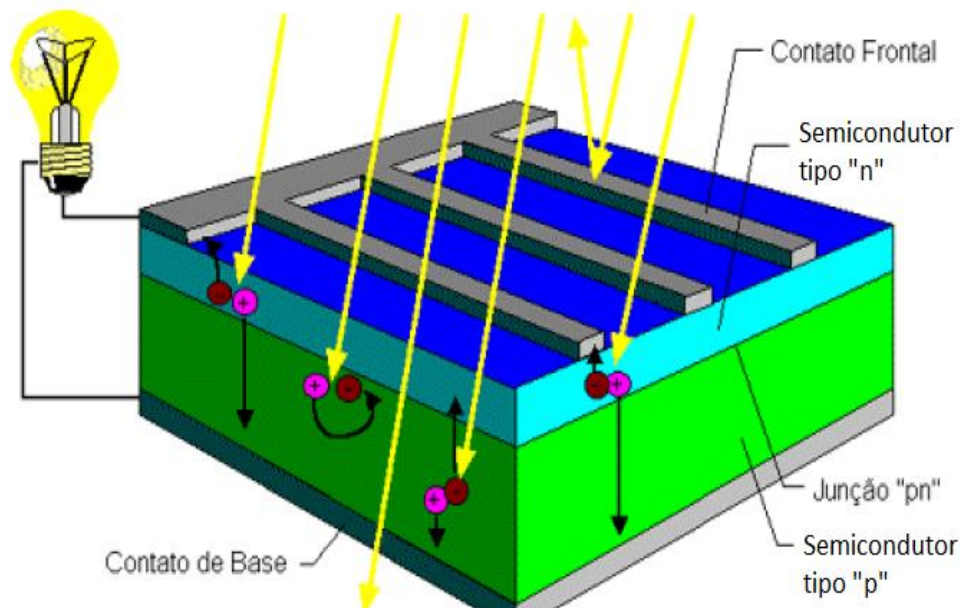


Fig. 10 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica

(Fonte: Adaptado de Ferreira & Silva, 2010)

Os elementos semicondutores são aqueles que possuem características elétricas que se situam entre os elementos não condutores e condutores (SILVA, n. d.). Os semicondutores são dopados com elementos doadores de elétrons, como fósforo (dopante N) e elementos

recetores de elétrons, como o boro (dopante P) e arrançados em células fotovoltaicas de maneira a formarem um junção entre eles (junção P-N) e consequentemente uma diferença de potencial. O semiconductor que recebeu o dopante N possui elétrons fracamente ligados, de maneira que o fornecimento de relativamente pouca energia possa gerar elétrons livres, que com a presença de condutores arrançados ligando as duas partes, gerando uma corrente elétrica contínua (ROSA, 2013).

A célula fotovoltaica é responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade, porém uma única célula não é suficiente para gerar potências elétricas elevadas, o que faz com que os fabricantes associem várias células, e as encapsulam para proteção, formando assim um módulo fotovoltaico (SOUZA, 2016), para fabricação de módulos fotovoltaicos o semiconductor mais usado é o Silício (FERREIRA & SILVA, 2010). O Silício apresenta-se na natureza sob a forma de dióxido de silício (SiO_2), também conhecido como sílica, o constituinte principal do mineral quartzo muito abundante na areia e no granito, para se poder fabricar o vidro dos módulos fotovoltaicos (ALMADA, 2016). Os seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede de cristal (FERREIRA & SILVA, 2010).



Fig. 11 - Formas do silício na natureza
(Fonte: Almada, 2016)

O cristal de silício puro é considerado não condutor, por não existirem elétrons livres para se moverem. No entanto, um meio para melhorar esta característica foi a introdução ou retirada de elétrons da estrutura cristalina, misturando-se outros elementos, de forma a criar elétrons

livres, e este processo denomina-se de “dopagem”, que é uma mistura controlada de outros materiais ao cristal de silício (SILVA, n. d.).

A geração fotovoltaica pode dar-se em centrais fotovoltaicas, que são sistemas em grande escala e que, integradas a uma rede de distribuição, produzem uma grande quantidade de energia elétrica em um único local, podendo ser consideradas um mercado em expansão. Nos últimos anos, diversos outros parques foram instalados e, atualmente, a Alemanha, Estados Unidos, China, Índia e Espanha são os líderes mundiais em potencial instalado (ROSA, 2013).

3.2. Tipos de células fotovoltaicas

As células fotoelétricas ou fotovoltaicas são definidas como dispositivos capazes de transformar a energia luminosa, proveniente do Sol ou de outra fonte de luz, em energia elétrica. Uma célula fotoelétrica pode funcionar como fonte geradora de energia elétrica a partir da luz, ou como um sensor capaz de medir a intensidade luminosa (FERREIRA & SILVA, 2010). Para os autores, a função de uma célula solar consiste em converter diretamente a energia solar em eletricidade, sendo a forma mais comum das células solares o fazerem é através do efeito fotovoltaico.

De acordo com Ferreira & Silva (2010), existem três tipos de células fotovoltaicas:

- Silício Monocristalino;
- Silício Policristalino;
- Silício Amorfo.

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo aproximadamente 60% do mercado. A estrutura molecular uniforme resultante da utilização de um cristal único é ideal para potenciar o efeito fotovoltaico, e o seu rendimento máximo atingido em laboratório é de cerca de 24%, o que em utilização prática se reduz para cerca de 15% (CASTRO, 2004). Contudo para Ferreira & Silva (2010), o rendimento máximo obtido em laboratório é relativamente menor, podendo chegar aos 20%. Embora este

tipo de células sejam as mais usadas, as técnicas usadas para as produzir são complexas e caras (CASTRO, 2004; FERREIRA & SILVA, 2010).



Fig. 12 - Células de silício monocristalino
(Fonte: Souza, 2016)

As células de silício policristalino são constituídas por um número muito elevado de pequenos cristais, e dispõe de uma quota de mercado de cerca de 30%. A estrutura molecular por ser descontínua, o que dificulta o movimento de elétrons e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída, e por este motivo os rendimentos em laboratórios e em utilização prática não excedem os 18% e 12% (CASTRO, 2004). Estas são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso, no entanto, a eficiência reduz um pouco em comparação as células de silício monocristalino (FERREIRA & SILVA, 2010).

Um dos processos de criação de silício policristalino mais utilizado é o de *fundição de lingotes*, onde o silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500°C e depois resfriado até uma temperatura de 800°C. Pode-se aproveitar o processo de purificação do silício, e adicionar o Boro (SOUZA, 2016).



Fig. 13 - Células de silício policristalino
(Fonte: Souza, 2016)

As células de silício amorfo são as que apresentam menor custo, entretanto apresentam também um rendimento elétrico reduzido, de aproximadamente 8 a 10%, e 13% nos laboratórios, mas tem mostrado grandes vantagens nas propriedades elétricas, bem como, no processo de fabrico (FERREIRA & SILVA, 2010). O silício amorfo (sem forma) não possui uma estrutura cristalina, mas sim uma rede irregular, por isso se formam ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação. O silício amorfo hidrogenado é criado em reatores plasmáticos, através de vaporização química de silano gasoso, que requer temperaturas relativamente baixas, em torno dos 200 a 250°C (SOUZA, 2016).



Fig. 14 - Módulo de silício amorfo
(Fonte: Souza, 2016)

3.3. Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas são classificados de acordo com a forma como é feita a geração ou entrega da energia elétrica em (SOUZA, 2016):

- Sistemas isolados (Off-Grid);
- Sistemas conectados à rede (On-Grid).

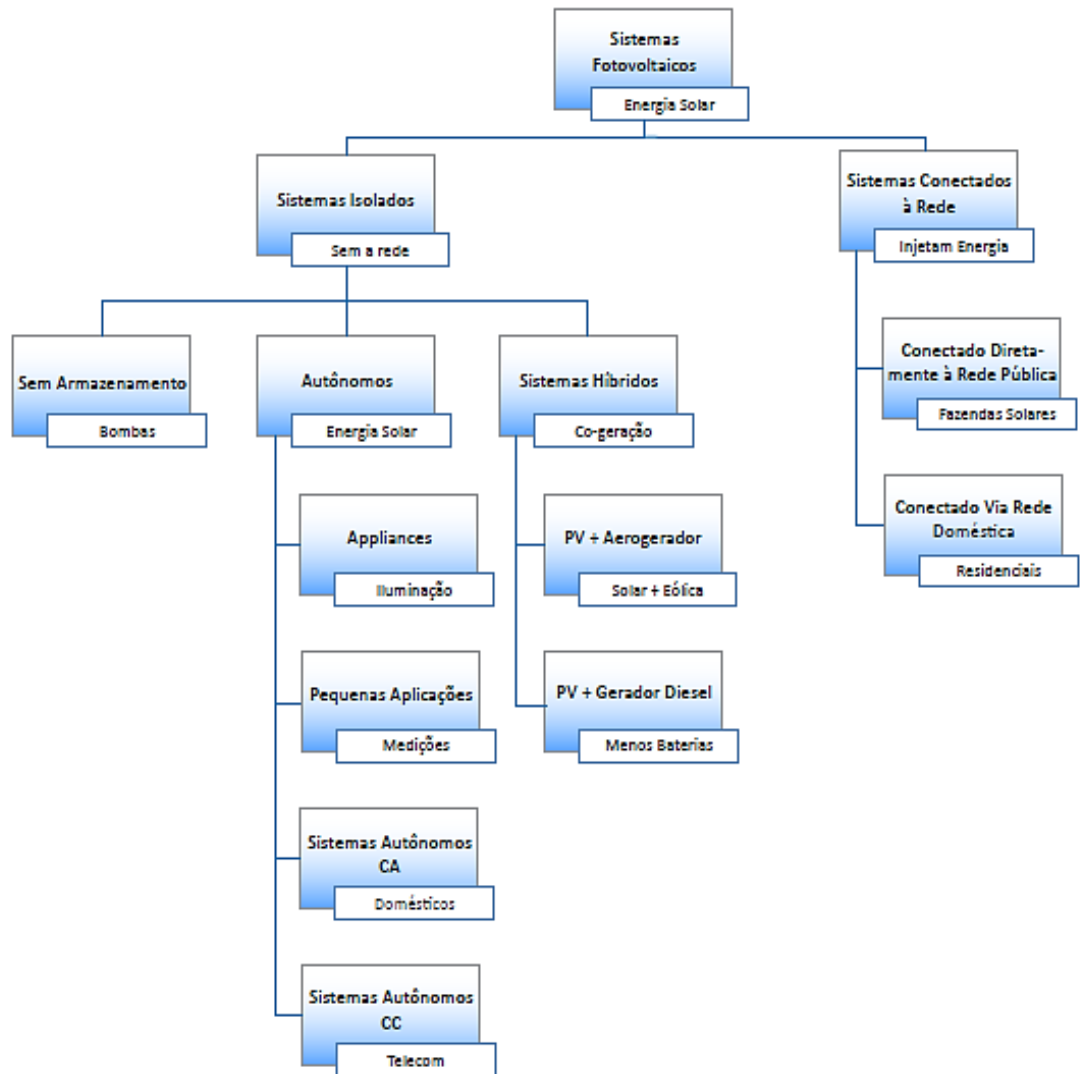


Fig. 15 - Tipos de sistemas fotovoltaicos
(Fonte: Souza, 2016)

Como já foi referenciado anteriormente os sistemas de grande escala podem ser integradas a uma rede de distribuição. No entanto, já os sistemas de pequena escala podem ser conectadas a rede, a exemplo das centrais fotovoltaicas, ou sistemas isolados e autônomos, localizados no próprio local de consumo (ROSA, 2013). Este autor continua explicando que, os sistemas conectados a rede apresentam a particularidade de que em momentos em que o consumo é maior do que a geração, a demanda possa ser complementada com energia da rede elétrica convencional, enquanto, que em momentos em que o consumo é menor, a energia gerada pode ser entregue à rede elétrica, porém para isso são utilizados inversores para transformar a corrente contínua gerada em corrente alternada compatível com a rede.

Os sistemas isolados são geralmente instalados em áreas sem acesso a rede elétrica convencional, normalmente em zonas rurais. Neste caso, deve-se proceder à acumulação da energia gerada nas horas de sol para sua utilização posterior, como nos períodos noturnos (ROSA, 2013), bem como estes sistemas podem ser instalados sem proceder ao armazenamento dessa energia em excesso (FERNANDES, 2013). Os sistemas fotovoltaicos isolados podem ainda ser classificados em híbridos ou autónomos (podendo ser com, ou sem armazenamento elétrico). Um sistema fotovoltaico híbrido trabalha conjuntamente com outro sistema de geração elétrica, que pode ser um aerogerador, um moto-gerador a combustível líquido, ou qualquer outro sistema de geração elétrica (SOUZA, 2016).

As aplicações mais comuns dentro dos sistemas autónomos são para telecomunicações, bombeamento de água para consumo ou irrigação, sensoriamento remoto, sinalizações (boias, faróis, linhas de comboio, etc), cerca elétrica, iluminação pública, alimentação elétrica de residências ou postos de saúde, sistemas de dessalinização, entre outros (CASTRO, 2004; SOARES, 2008; MOHSEN & JABER, 2001).

3.4. Componentes de uma instalação fotovoltaica

Para que se possa transformar a energia do sol em energia elétrica, uma instalação fotovoltaica deve dispor de vários componentes como painel fotovoltaico, inversor de corrente, regulador de carga, baterias e um quadro de baixa tensão.

Para que a energia solar seja convertida em energia elétrica, é necessário um conjunto de dispositivos (ALMADA, 2016):

- **Painéis fotovoltaicos:** conjunto de módulos fotovoltaicos, que por sua vez são constituídos por um conjunto de células fotovoltaicas, para que se possa aumentar a tensão dos painéis.
- **Inversor de corrente:** dispositivo elétrico capaz de converter um sinal elétrico CC, recebido do painel, em um sinal elétrico CA. O inversor é um dispositivo importante,

pois através deste se pode fornecer energia para diversos equipamentos que utilizam CA, ou ainda exportar a energia para ser vendido à rede pública.

- **Quadro de baixa tensão:** dispositivos para proteção dos circuitos elétricos contra curto-circuitos ou sobrecargas, no qual se pode ligar ou desligar diversos sistemas incorporados.
- **Cabos e Estruturas físicas:** são utilizados diversos cabos elétricos e, suportes metálicos que suportam os painéis, tubulação, parafusos, e outros.
- **Baterias:** dispositivos que convertem a energia elétrica em energia química e vice-versa (armazenamento para backup do sistema). Permitem aproveitar a totalidade da potência do painel fotovoltaico.
- **Regulador de carga:** dispositivo que controla o excesso de corrente em todas as células para que, quando for atingida a carga completa das baterias, estas não sejam sobrecarregadas.

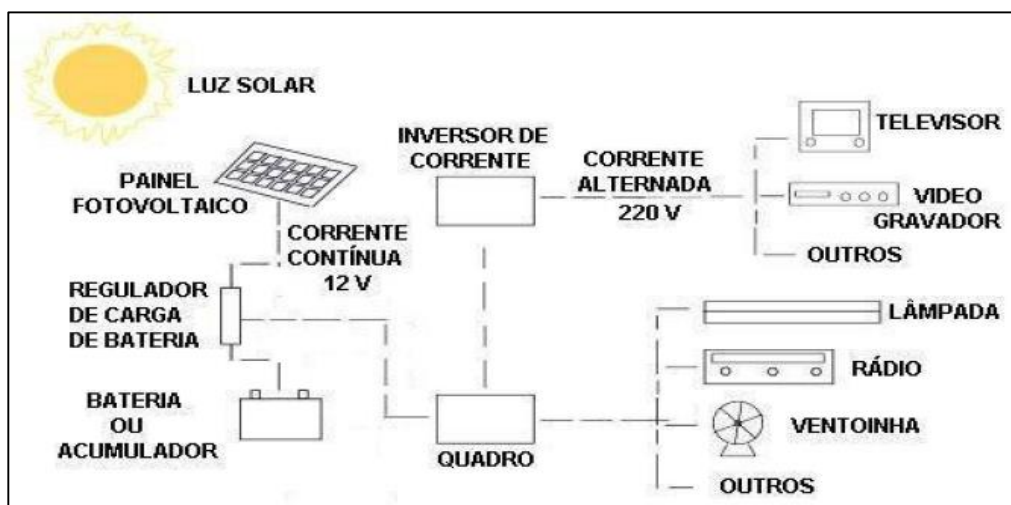


Fig. 16 - Constituição de um sistema fotovoltaico

(Fonte: Almada, 2016)

3.5. Configurações básicas dos sistemas fotovoltaicos

Arranjo fotovoltaico é um conjunto de módulos fotovoltaicos ligados eletricamente entre si, que funcionam como um único gerador de energia elétrica e, estes podem ser ligados em paralelo ou em série, dependendo da sua aplicação (PEREIRA, 2010). As ligações em série

permitem a obtenção de uma maior tensão por uma corrente constante, ao contrário das ligações em paralelo que permitem obter uma maior corrente por uma tensão constante. Deste modo as ligações em série se mostram vantajosas para aparelhos que precisam utilizar baixa corrente e alta tensão e as ligações em paralelo serão favoráveis a equipamentos que necessitam de baixa tensão e alta corrente (SOARES, 2008).

3.6. Vantagens e desvantagens da energia fotovoltaica

As células fotovoltaicas apresentam inúmeras vantagens que fazem com que a procura esteja a crescer exponencialmente (MARACAJÀ, SOARES, 2008):

- Funcionamento simples, silencioso e confiável;
- Fonte renovável de energia elétrica;
- Maior potência por unidade de área;
- Instalação simples, compacto e potente;
- Construção reforçada e duradoura;
- Sistema de baixa manutenção, sistema modular leve, compatível com qualquer bateria;
- Grande vida útil (em torno de 20 anos);
- Converte energia mesmo em dias nublados;
- É uma energia que não gera nenhum tipo de resíduo, nem causa impactos ambientais (como as centrais hidroelétricas);
- Só usa como combustível a energia do sol, que é gratuita;
- Fornece tensões de 12, 24, 36 e 48 volts (corrente contínua), dependendo da necessidade.

3.7. Sistemas fotovoltaicos de bombagem

Os sistemas de bombagem precisam de energia para que se possa elevar a água dos poços até um reservatório, e para sistemas de bombagem de alto rendimento, a utilização de energia elétrica é considerada uma boa opção, desde que a mesma esteja disponível. E este pode ser

um problema em zonas rurais, devido à baixa densidade populacional, características de demanda, limitado poder de aquisição da população e a necessidade de grandes investimentos em redes de distribuição (ROSA, 2013; ALVARENGA, 2012). Uma das aplicações mais importantes da energia solar é a bombagem de água, pois a água, assim como a eletricidade, é um fator de saúde e de progresso para as comunidades, principalmente as situadas em locais remotos. Este constitui um dos fatores que permitem a fixação do homem no campo, evitando o deslocamento para as cidades com todos os problemas decorrentes (ALVARENGA, 2012), assim uma alternativa seria a utilização de sistemas descentralizados com geração fotovoltaica (ROSA, 2013).

De acordo com Rosa (2013) a utilização de sistemas isolados de geração fotovoltaica destinados ao funcionamento de sistemas de bombagem oferece a vantagem de eliminação das baterias do sistema, o que implica uma diminuição do custo do sistema e eliminação dos problemas relacionados à reposição e descarte dessas baterias. Para este autor, deve-se fazer um correto dimensionamento do sistema de geração e dos reservatórios para acumulação da água bombeada e a utilização de conversor de frequência para adaptar o funcionamento do motor à geração fotovoltaica, a energia não é mais armazenada em baterias. E segundo Alvarenga (2012) isso diminui a importância de um grande fator limitante do uso da energia solar que é sua variabilidade no tempo e a necessidade de sistemas de armazenamento para tê-la de forma contínua, pois os reservatórios constituem as baterias elétricas a um custo muito menor.

O uso de sistemas de bombagem acionados com módulos fotovoltaicos é, hoje, uma realidade, pois existem milhares de sistemas em funcionamento nas mais remotas regiões do mundo. Estes sistemas são confiáveis, eficientes, necessitam de pouca manutenção e resolveram o problema de abastecimento de água dessas comunidades com um custo relativamente baixo (ALVARENGA, 2012). Geralmente, essas comunidades vivem da agricultura e utilizam a água dos poços para fazer a irrigação das culturas, mesmo que está água tenha concentrações de sais relativamente altas. Alvarenga (2012) acrescenta que uma característica muito favorável ao uso dessa tecnologia refere-se à conjugação perfeita entre a

fonte energética, a radiação solar e a necessidade de água, pois regiões mais secas e carentes de água são as mais favoráveis em termos de insolação.

Referenciando Pereira (2010), os sistemas fotovoltaicos para bombagem de água têm inúmeras aplicações, sendo estas: i) Irrigação, pois pode-se bombear a água de um reservatório diretamente para o campo a ser irrigado. É uma alternativa bastante viável para o desenvolvimento da agricultura, sendo que uma vez que as culturas se encontram em áreas distantes e muitas vezes não são atendidas pela rede de distribuição de energia elétrica; ii) Abastecimento residencial, pois este é um dos usos mais difundidos e viáveis. O sistema pode ser dimensionado para atender a uma residência individual ou ainda uma pequena comunidade; iii) Circulação de água em piscinas, em que o arranjo fotovoltaico gera energia elétrica necessária para o funcionamento da bomba durante o processo de filtragem e circulação de água na piscina, porém é pouco explorada por apresentar um alto investimento inicial para um uso que não é essencial; iv) Esgotamento, em que o sistema é utilizado para esgotar água de poços artesianos, de garagens e subestações alagadas pelo excesso de chuva. É visto como um sistema de emergência em caso de interrupção no fornecimento de energia elétrica pela rede ou dano às instalações de suprimento de energia; v) Refrigeração, que é uma aplicação de uso industrial, em que a água é bombeada de um reservatório e utilizada para o resfriamento forçado de um equipamento; e vi) Pecuária, na qual o sistema é utilizado em bebedouros de animais no campo. E é composta por um sistema fotovoltaico sem armazenamento de energia e surge como alternativa para a expansão da pecuária. Alvarenga (2012) defende que as aplicações mais importantes para o sistema de bombagem solar estão nas pequenas comunidades remotas distantes da rede elétrica, nos bebedouros para animais e na irrigação de culturas de baixo consumo de água.

A bombagem pode ser feita como já mencionado anteriormente através de sistemas descentralizados com geração fotovoltaica, ou ainda com recurso a eólica, diesel e também sistemas híbridos. Porém a opção por diesel traz inconvenientes como a necessidade frequente de compra e transporte de combustível, além da emissão de poluentes, logo a bombagem fotovoltaica apresenta vantagens em relação à utilização de bombas a diesel (ROSA, 2013):

- Utilizar um recurso renovável de energia;
- Autonomia em relação ao recurso energético;
- Suprimir constantes gastos com compra e transporte de combustível;
- Evitar a emissão de gases poluentes na geração;
- Eliminar a emissão de ruídos no gerador.

Para Rosa (2013) comparando-se com a utilização de bombas a diesel, esta opção apresenta um alto custo de investimento inicial, no entanto analisando-se para toda a vida útil de cada projeto, a bombagem fotovoltaica torna-se economicamente competitiva. Os sistemas de bombagem fotovoltaica é semelhante aos sistemas convencionais, com uma diferença básica que o acionamento do motor da bomba é feito por um conjunto de módulos fotovoltaicos (ALVARENGA, 2012). A configuração destes sistemas é apresentado na figura 17.

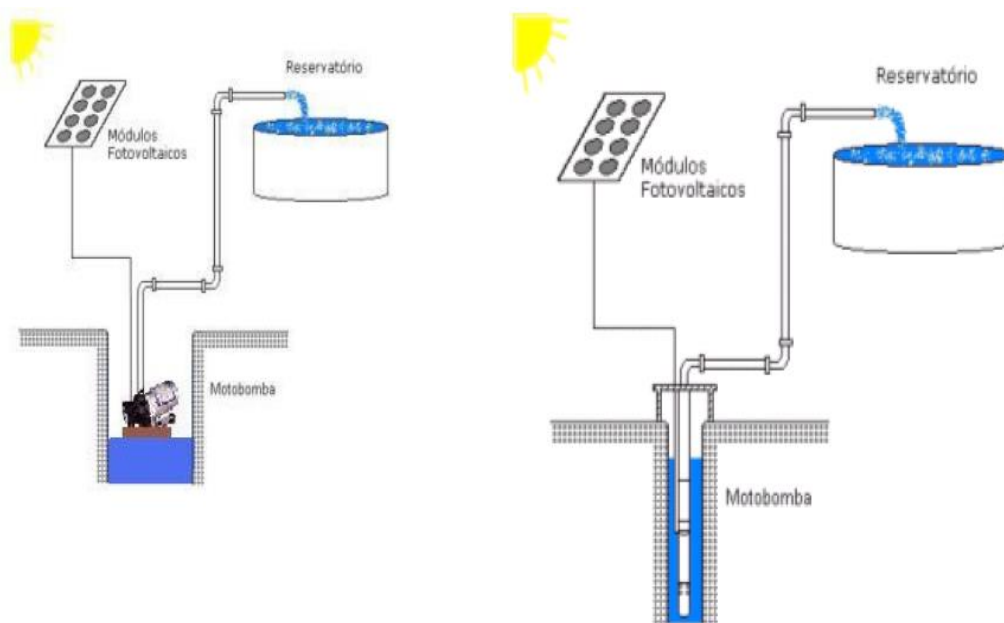


Fig. 17 - Sistema fotovoltaico de bombagem de água
(Fonte: Alvarenga, 2012)

Embora este tipo de sistemas ofereçam grandes vantagens, também apresentam alguns inconvenientes (ALVARENGA, 2012):

- O gerador solar somente gera energia quando há radiação solar incidindo nas placas fotovoltaicas.
- A quantidade de água que bombeia depende também da posição do sol em relação às placas.
- No início da manhã e no final da tarde pouca água é bombeada, portanto a quantidade instantânea bombeada varia de acordo com o nível de insolação naquele momento.
- A bombagem na capacidade máxima só ocorre durante alguns poucos momentos do dia.
- Existe uma variação na quantidade de água bombeada dependendo do local de instalação. Diferenças de latitude, frequências de dias de chuvas ou com nebulosidade mais intensa fazem grande diferença na quantidade diária bombeada.
- A altura da bombagem altera a quantidade de água bombeada. Quanto maior o deslocamento vertical da água maior a quantidade de energia necessária, e quanto maior a profundidade da água e a elevação do reservatório menor será a quantidade de água bombeada, ou então maior e mais caro será o gerador solar.

CAPÍTULO IV

4. CABO VERDE

4.1. Caraterização geográfica, climática e social

A República de Cabo Verde é um arquipélago saheliano, constituído por dez ilhas, das quais nove são habitadas e oito ilhéus, situado a cerca de 500 km a Oeste da costa do Senegal, entre o Trópico de Câncer e o Equador. A superfície do arquipélago é de aproximadamente 4.033 km² e a sua Zona Económica Exclusiva (ZEE) estende-se por 734.000 km². As ilhas estão divididas em dois grupos, nomeadamente: Barlavento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boa Vista) e Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava), esta divisão deriva da posição das ilhas relativamente aos ventos dominantes do Nordeste (PAGIRE, 2010; BORGES & MORAIS, 2012). As ilhas são de origem vulcânica e repartem-se em dois grupos (do ponto de vista fisiográfico): as montanhosas, com relevo pronunciado em que a altitude ronda os 1.000 m (Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Santiago, Fogo e Brava), e as de relevo plano (Sal, Boa Vista e Maio) que possuem altitudes não superiores a 500 m (MONTEIRO, 2011).

As condições climáticas do país são do tipo subtropical árido a semiárido, que corresponde à zona saheliana. As precipitações nas ilhas são muito variáveis e incertas, durante alguns dias, entre o mês de julho a outubro, sendo que o arquipélago sofre de secas persistentes com fortes impactos na economia, demografia e ambiente. No decurso dos últimos vinte anos, o clima de Cabo Verde, tem sido caraterizado pelo acentuar da aridez (PAGIRE, 2010; SHAHIDIAN *et al.*, 2014). De acordo com estes, tem-se notado em particular a grande variabilidade das precipitações no espaço e no tempo (com uma tendência genérica pela regressão anual da pluviometria total), a redução do número de dias de ocorrência de pluviosidade, também maiores frequências de chuvas violentas e devastadoras para as culturas e infra-estruturas, e por último a diferença climática entre as vertentes a sotavento e a barlavento.

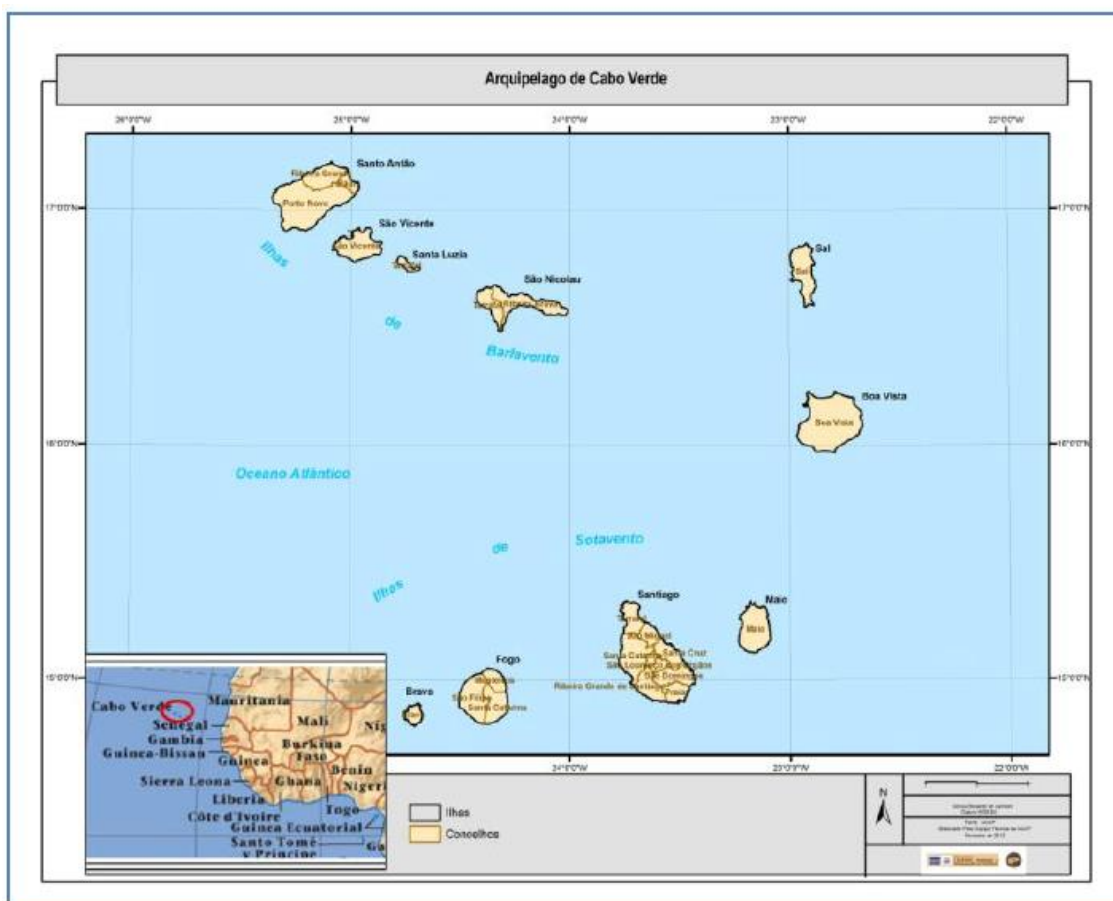


Fig. 18 - Localização de Cabo Verde
(Fonte: Borges & Morais, 2012)

O clima de Cabo verde é caracterizado por um longo período de estação seca, que normalmente decorre de 8 a 9 meses e uma curta estação chuvosa, com temperaturas moderadas devido a influência marítima, tendo como valores médios os 25°C. As temperaturas médias mensais são mais elevadas em setembro podendo atingir os 26.7°C e as mais baixas registam-se nos meses de janeiro e fevereiro com 18°C (MONTEIRO, 2011). A precipitação média anual é de 230 mm, muito irregularmente repartida no espaço e no tempo, com episódios de secas cíclicas, que são alternados com chuvas torrenciais (PAGIRE, 2010). Sendo que cerca de 80% da população do arquipélago ocupa as zonas costeiras, este fato torna a mesma muito vulnerável a eventuais alterações das condições climáticas e ocorrência de fenómenos extremos como tempestades, ondas gigantes e inundações (BORGES & MORAIS, 2012).

A sociedade cabo-verdiana ao longo dos cinco séculos de sua existência conheceu uma evolução marcada ciclicamente por eventos que, embora extra-demográficos, determinaram e orientaram a sua estrutura e o seu crescimento, respetivamente: i) as secas e as fomes que causaram milhares de mortes, ii) os importantes fluxos migratórios, que aconteceram durante estes períodos de seca e de fome, constituindo-se em fator regulador do crescimento populacional (PAGIRE, 2010).

As ilhas de Cabo Verde, que constituem os maiores centros urbanos são, as ilhas de Santiago e São Vicente, isto deve-se ao fato de serem as ilhas com maior desenvolvimento económico e as que oferecem maiores oportunidades de emprego e outros. Havendo assim uma grande migração da população das outras ilhas, nomeadamente das zonas rurais para as principais zonas urbanas: o Mindelo (ilha de São Vicente) e a cidade da Praia (ilha de Santiago).

A tendência da população para urbanização, sendo a população urbana cerca de 57.3% em 2005 e de 60.6% em 2010. As projeções indicaram que em 2015 a população seria de 577.926 habitantes, dos quais 369, 923 estariam concentrados nos espaços urbanos (64%) e em 2020 será de 632.524 habitantes, dos quais 425,232 habitantes no meio urbano representando 67% e 207,291 habitantes no meio rural com os restantes 33% (PAGIRE, 2010).

4.2. Caracterização geográfica e climática da ilha de São Vicente no arquipélago de Cabo Verde

Sendo que o presente trabalho se centraliza na ilha de São Vicente, é importante que seja feita a sua caracterização geográfica e climática. A ilha localiza-se a nordeste do arquipélago de Cabo Verde, com as coordenadas entre os paralelos 16° 46' e 16° 55' de latitude Norte e os meridianos de 24° 51' e 25° 05' de longitude a Oeste de Greenwich (ALVES, 2013). De acordo com Cruz (2007, citado por Alves, 2013), a ilha cobre uma superfície de 227 km², representando 5.6% do total da superfície do arquipélago habitado, sendo considerada uma ilha com vastas áreas aplanadas, com vários maciços montanhosos (sendo Monte Verde o ponto mais alto da ilha com cerca de 750 m de altitude).



Fig. 19 - Enquadramento geográfico da ilha de São Vicente no arquipélago de Cabo Verde
(Fonte: Alves, 2013)

O clima das ilhas de Cabo Verde sempre impôs muitas restrições ao desenvolvimento da atividade agrícola, devido a um regime pluviométrico com baixos volumes e concentrado numa única estação, que é chamada estação das águas que decorre de agosto a outubro (NEVES *et al.*, 2016). Na ilha de São Vicente, é rara a ocorrência de precipitações mesmo nos meses húmidos e, a sua orografia não permite que a ilha beneficie das chuvas orográficas que ocorrem normalmente nas ilhas vizinhas, nomeadamente Santo Antão e São Nicolau (ALVES, 2013).

São Vicente apresenta um clima quente, com temperatura média anual de 24°C, e é uma das ilhas mais áridas do arquipélago (ALVES, 2013), sendo que uma zona árida se caracteriza por estar entre 0 e 200 m de altitude, com caráter desértico e com pluviosidade média inferior a 300 mm (PAGIRE, 2010). A temperatura média mensal nesta ilha varia entre 22°C, em janeiro e fevereiro que são os meses mais frios, e 27°C em agosto a setembro, que são considerados os meses em que ocorrem os maiores valores de precipitação. A declividade da ilha apresenta-se moderada, mas as intensas chuvas que ocorrem, em intervalos curtos de

tempo, e seu significativo escoamento superficial, causam erosão do solo (NEVES *et al.*, 2016).

No âmbito do relatório de caracterização e diagnóstico ambiental do Esquema Regional de Ordenamento do Território (EROT), as massas de ar predominantes e que caracterizam o clima da ilha de São Vicente são (ALVES, 2013):

- Ventos alísios do nordeste, que são ventos secos e frescos que circulam na direção NE-SW, e que influenciam todas as ilhas do barlavento;
- A monção do Atlântico Sul, que é um vento húmido e quente que provém do sudoeste, e que é responsável pelas fortes chuvas que ocorrem no arquipélago, habitualmente nos meses entre julho e agosto.
- Harmatão que é uma massa de ar quente e seco proveniente do deserto do Sahara, que são frequentes nos meses de janeiro a abril, embora com pouca duração.

4.3. Recursos hídricos

Identifica-se que a posse da água não está bem clara, o que dificulta a gestão ao nível da bacia, para além que os conflitos sociais são frequentes quanto ao uso da água e acresce que a população rural não está devidamente integrada na gestão dos recursos hídricos. Também o aumento da população, o desenvolvimento urbanístico e o crescimento das necessidades de água para rega, indústria e turismo, aliados à seca dos últimos anos, têm provocado situações de carência, que tendem a agravar-se com o tempo (SHAHIDIAN *et al.*, 2014). A caracterização do recurso hídrico tem uma evidente importância num território como o de Cabo Verde, que apresenta um clima árido e caracterizado por um historial de secas e ocorrências torrenciais de precipitação, o que significa que a precipitação anual é reduzida, ocorrendo de forma concentrada em curtos períodos, pelo que o aproveitamento do escoamento gerado por tais eventos pluviométricos é de extrema importância (MONTEIRO, 2011).

No âmbito do Plano Nacional de Saneamento de 2010, o volume global de água subterrânea explorada no país foi estimado em cerca de 99 409 m³/dia, e segundo estudos técnicos, os

recursos hídricos subterrâneos são estimados em 124 milhões de metros cúbicos por ano e, dessa quantidade total só são tecnicamente exploráveis 65 milhões de m³ e nos períodos de secas somente 44 milhões de m³ (SHAHIDIAN *et al.*, 2014).

Para a caracterização do recurso hídrico no arquipélago, foi efetuado um estudo através do Plano Energético Renovável de Cabo Verde (PERCV) de 2011, realizado pela consultora GESTO, com o objetivo de determinar e caracterizar temporal e espacialmente o escoamento superficial do território. Neste estudo a GESTO, recorreu a três métodos: i) o método de *Turc*; ii) Relação de precipitação-escoamento; e iii) o balanço hídrico. Constatou-se que analisando e comparando os resultados obtidos por cada uma das metodologias utilizadas, concluiu-se que o método de *Turc* é, de entre os três metodologias utilizadas, a que conduziu a menores valores de escoamento, enquanto a aplicação do balanço hídrico conduziu a valores mais elevados. E a aplicação da relação precipitação-escoamento, permitiu obter valores de escoamento num maior número de postos, revelando-se o método mais equilibrado, embora este não tenha conduzido a valores de escoamento tão elevados como o balanço hídrico.

Observa-se que das nove ilhas analisadas apenas quatro, respetivamente, Santiago, Santo Antão, Fogo e Brava, apresentam áreas com capacidade de escoamento anual médio superior a 100 mm. No entanto, a geração de escoamento encontra-se concentrada em períodos anuais muito reduzidos, cerca de três meses especificamente, sendo nos restantes meses, em regra nula. No que concerne às restantes ilhas, nomeadamente, São Vicente, Sal, Boa Vista, São Nicolau e Maio, estas apresentam valores reduzidos de escoamento anual médio (GESTO, 2011).

4.4. Energia

O setor energético é caracterizado pelo consumo de combustíveis fósseis, biomassa e utilização de energias renováveis (MONTEIRO, 2011), sendo que a energia elétrica produzida no país é também da responsabilidade da concessionária Electra S.A e esta produção reparte-se por três grupos de tecnologias (ELECTRA, 2015):

- Produção térmica;
- Produção eólica;
- Produção solar fotovoltaico.

No ano de 2015 foram produzidas 377.113.475 kWh de energia elétrica (Tab. 6), sendo que 88,5% foi distribuída à rede e os restantes 11,5% foram consumidas: na dessalinização (7.6%), nos consumos internos (2.9%) e na bombagem da água produzida (1.0%), incluindo a energia renovável adquirida junto dos produtores independentes, nomeadamente a Cabeólica e Electric (ELECTRA, 2015).

Tab. 6 - Produção entregue à rede (kWh)

Ilha	Central	Produção	Consumos afectos à produção nas centrais			Produção Entregue à Rede			
			Dessalinização	Consumo Interno	Consumo Bombagem água produzida	Total dos consumos da produção	2015	2014	2015-2014
Santo Antão		13.399.347	0	167.055	0	167.055	13.232.292	12.465.114	767.178
S. Vicente		71.121.649	7.177.113	2.570.515	486.051	10.233.679	60.887.970	57.586.448	3.301.522
S. Nicolau		5.963.869	0	24.415	0	24.415	5.939.454	5.707.664	231.790
Sal	Palmeira	56.887.462	8.372.233	2.305.041	353.453	11.030.727	45.856.735	43.114.277	2.742.458
Maio	Maio	2.626.002	0	14.881	0	14.881	2.611.121	2.593.488	17.633
Santiago	Total Praia	212.279.911	13.025.109	5.725.835	2.971.236	21.722.181	190.557.730	183.806.646	6.751.084
Fogo		12.260.372	0	92.754	0	92.754	12.167.618	11.905.497	262.121
Brava	Favatal	2.574.862	0	17.633	0	17.633	2.557.229	2.518.859	38.370
Total Electra		377.113.475	28.574.455	10.918.130	3.810.740	43.303.325	333.810.150	321.008.647	12.801.503

(Fonte: Electra, 2015)

Analisando a tabela de uma forma global pode-se concluir que houve um aumento significativo em kWh da energia elétrica entregue a rede entre os anos de 2014 e 2015 em cada uma das ilhas. A melhoria da qualidade do fornecimento do serviço nos últimos anos tem contribuído para aumentar a percentagem de energia produzida e entregue à rede, no entanto ainda há problemas de perdas nas redes de distribuição, e também grandes problemas relativo aos roubos de energia elétrica.

Embora a energia elétrica seja a principal fonte de energia para iluminação, existem alternativas utilizadas pela população, principalmente durante os períodos de falha de eletricidade. A nível rural, nem todas as localidades têm acesso à rede elétrica, e por isso recorrem a utilização de velas e geradores a gasóleo (FERNANDES, 2013).

Para Cabo Verde, a garantia da disponibilidade de energia revela-se de uma grande importância, isto porque o país é dependente da água dessalinizada, que por sua vez, exige um processo energético intenso (MONTEIRO, 2011).

4.4.1. Evolução da procura na ilha de São Vicente

De acordo com o PERCV de 2011, a ilha de São Vicente está dentro do grupo Barlavento no arquipélago de Cabo Verde, com uma superfície de 227 km², sendo a segunda ilha mais populosa com cerca de 80.000 habitantes, que se encontram maioritariamente concentrados no principal centro urbano – Mindelo. Em conformidade com o PERCV a procura de energia na ilha representou cerca de 22% no ano de 2009 da procura total de Cabo Verde, com uma TCMA de 4.2% (2000 – 2009), tendo atingido os 61 GWh (Fig. 20) naquele ano. A procura na ilha de São Vicente está repartida nos diversos setores (Fig. 21): i) Doméstico; ii) Comércio, Indústria e Agricultura; iii) Turismo; iv) Instituições; v) Dessalinização; vi) Consumo interno; e vii) Perdas técnicas.

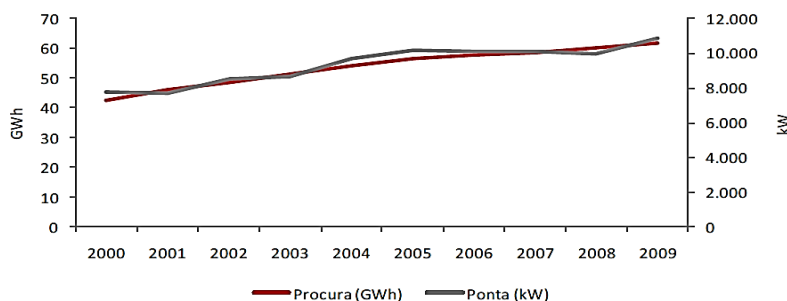


Fig. 20 - Evolução histórica da procura total e da carga em ponta (São Vicente)
(Fonte: Electra encontrado in PERCV, Análise Gesto, 2011)

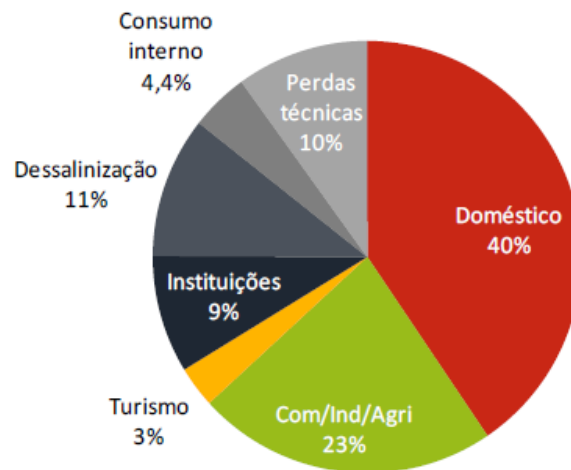


Fig. 21 - Repartição por setor da procura em 2009 (São Vicente)

(Fonte: Electra encontrado in PERCV, Análise Gesto, 2011)

Para se determinar os diferentes comportamentos de evolução da procura de energia, no âmbito do PERCV foram definidos três cenários:

- i) O cenário Intermédio, em que pressupõe uma abordagem *business as usual*, ou seja um cenário suportado por previsões demográficas, macroeconómicas e setoriais, que mantêm a tendência dos últimos anos;
- ii) O cenário de Eficiência Energética, que é baseada no cenário intermédio, e que pressupõe a implementação de medidas de eficiência energética em vários setores, conduzindo a um crescimento da procura mais moderado, devido a redução de consumo e custos;
- iii) O cenário Agressivo, em que se admitiu que a taxa de crescimento anual da procura total de cada ilha, registada no período entre os anos 2000 a 2009, não se irá modificar nos próximos anos, mantendo os seus valores. É o cenário mais ambicioso em termos de procura.

Em São Vicente o cenário intermédio conduz a valores mais elevados para a procura total, comparado com o cenário agressivo. Tal resultado deve-se aos pressupostos e modelos considerados na previsão da procura na ilha (GESTO, 2011).

Tab. 7 - Cenários de produção (São Vicente)		
Cenários	Produção em GWh	
	2009	61.635
Evolução da procura		
Intermédio	2012	72.199
	2015	84.044
	2020	107.659
Eficiência Energética	2012	70.670
	2015	79.462
	2020	95.611
Agressivo	2012	69.781
	2015	79.004
	2020	97.164

(Fonte: PERCV, Gesto, 2011 encontrado in Monteiro, 2011)

4.5. Recurso solar em Cabo Verde

Relativamente ao recurso solar em Cabo verde, foi elaborado um estudo do mesmo no âmbito do Plano Energético Renovável de 2011, com o objetivo de avaliar o potencial solar de cada uma das ilhas do arquipélago, elaborando um mapeamento do recurso e elaborando também um zoneamento de nebulosidade.

Do mapeamento do recurso solar (Fig. 22) pode-se concluir que o arquipélago tem um recurso solar abundante, e grande parte do território, em termos de média anual, a radiação global está na faixa dos 1800 e os 2000 kWh/m²/ano, para a inclinação e exposição natural do terreno. Relativamente ao número de horas de sol no território, mais de metade do território simulado apresenta um potencial de mais de 3.750 horas de sol por ano. E relativamente à nebulosidade (Fig. 23), verifica-se que as ilhas com maiores índices são as de Santo Antão e Fogo e com menor índice de nebulosidade é a ilha do Sal (GESTO, 2011).

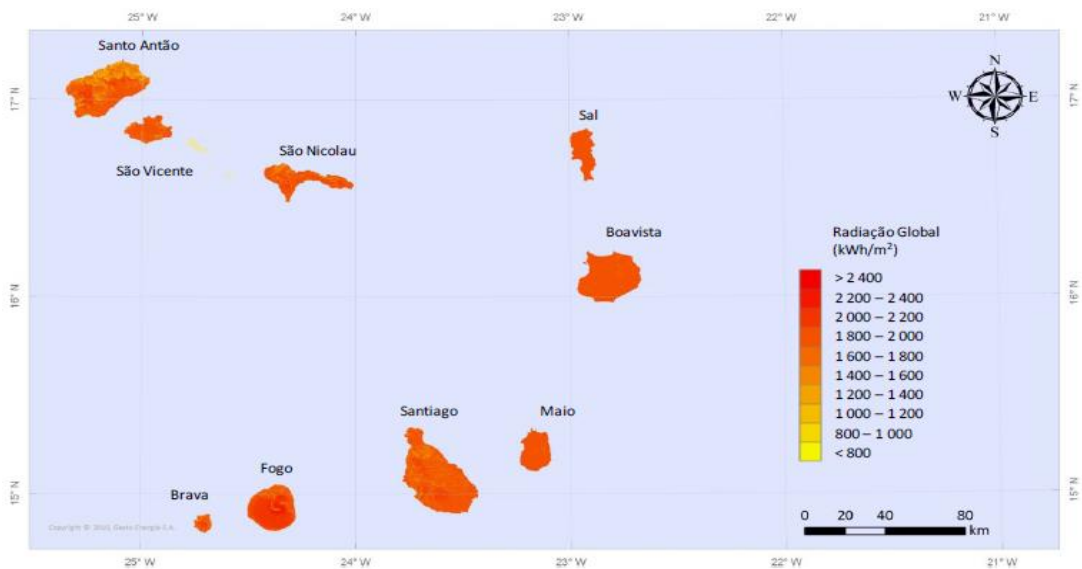


Fig. 22 - Radiação solar global
(Fonte: PERCV, Gesto, 2011)

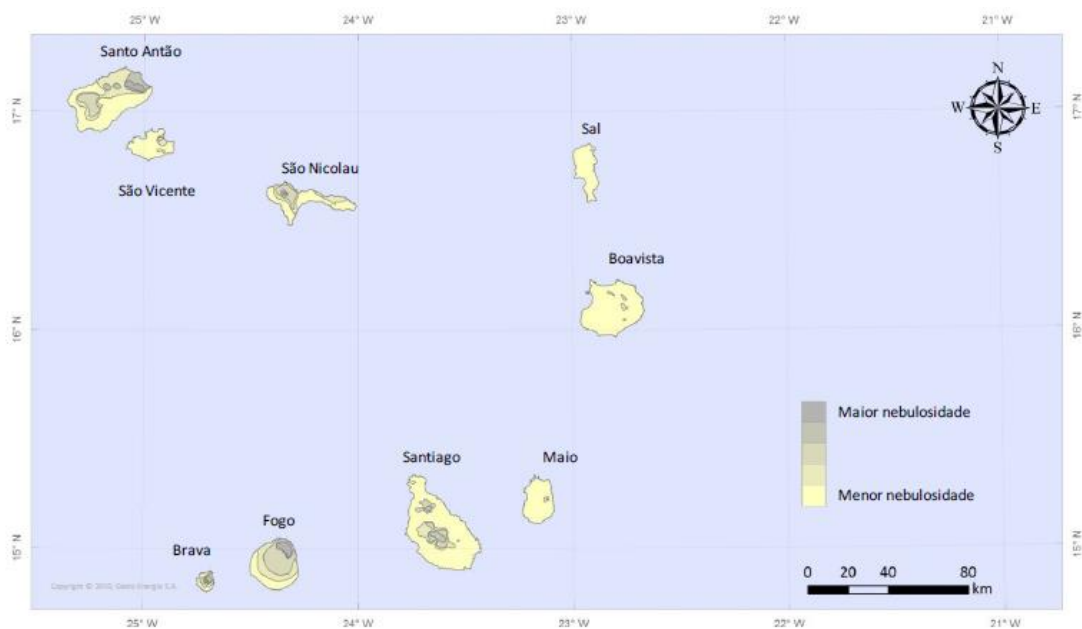


Fig. 23 - Zonas de nebulosidade
(Fonte: PERCV, Gesto, 2011)

4.6. As energias renováveis no arquipélago de Cabo Verde

A aposta nas energias renováveis é considerada estruturante para o país. Pois garante intrinsecamente a sustentabilidade da meta de acesso à energia, e no contexto de Cabo Verde, o recurso a fontes endógenas permitirá, uma maior independência energética e também o

acesso a energia a custos competitivos para as famílias e para as empresas (PNAER, 2015). O arquipélago encontra-se numa fase de desenvolvimento, marcada por importantes mudanças na sua estrutura económica, com relevância para as perspetivas do forte crescimento do setor terciário, com ênfase para o setor do turismo, assim como pelos investimentos públicos realizados em infra-estruturas e equipamentos que procuram reforçar a integração e coesão do território nacional (MONTEIRO, 2011).

Com o objetivo de identificar e reservar determinadas áreas, foi elaborado o Plano Estratégico Setorial das Energias Renováveis (PESER), propondo o zoneamento ao nível da gestão territorial que, de acordo com a ocupação do solo e a estratégia de uso definida pelo Governo de Cabo Verde, poderá servir de catalisador para o desenvolvimento de projetos na área das energias renováveis. Através deste instrumento de política setorial, são definidas as Zonas de Desenvolvimento das Energias Renováveis (ZDER), zonas estas com o objetivo de acolher projetos solares, eólicos, hídricos, geotérmicos, de resíduos sólidos urbanos e marítimos (MONTEIRO, 2011). A possibilidade de inovação que o arquipélago enfrenta abre oportunidades para a exportação de conhecimento e de serviços de elevado valor acrescentado nos setores das energias renováveis e da eficiência energética, para diversos mercados internacionais, com ênfase nos pequenos estados insulares, nos PALOPs e na CEDEAO. A aposta na energia sustentável transcende a disponibilização competitiva de energia para a economia, transformando todo o setor energético num motor de desenvolvimento e de criação de mais-valia competitiva a nível nacional e internacional (PNAER, 2015).

4.6.1. As metas para as energias renováveis no arquipélago

No âmbito do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) 2015, que inclui o Plano Nacional de Ação para a Eficiência energética (PNAEE) e a Agenda de Ação para a Energia Sustentável para Todos (AASE4ALL), são apresentadas as metas propostas para as ER para o arquipélago de Cabo Verde, de forma resumida na seguinte tabela no horizonte de 2020 e 2030:

Tab. 8 - Resumo das metas para as energias renováveis

Metas para as ER ligadas à rede:		
Capacidade instalada (MW)	2020	2030
Capacidade instalada de energias renováveis em MW	100 – 150 MW	150 – 300 MW
Percentagem de capacidade de energias renováveis instaladas	100 %	100%
Produção ligada à rede (GWh)	2020	2030
Produção total a partir de energias renováveis em GWh	485,2 GWh	760.2 GWh
Penetração total das energias renováveis na produção de eletricidade	100%	100%
Metas para micro-redes isoladas:		
	2020	2030
Fração da população rural servida por aplicações off-grid (mini-redes ou sistemas autónomos) de energias renováveis em %	2,5%	1,5%
Metas para aplicação de cocção doméstica:		
	2020	2030
Fogões melhorados: medidos em termos da % da população total que utilizam lenha	15,7%	3,2%
Uso de combustíveis modernos alternativos para cocção (sobretudo gás GPL) - % da população	76,6%	91,3%
Metas para água quente sanitária não residencial:		
	2020	2030
% de novas residências (habitações unifamiliares novas) com sistemas solares térmicos	100%	100%
- Centros de saúde, maternidades, cantinas e internatos (novos) com sistemas solares térmicos em % do total	100%	100%

(Fonte: Adaptado do PNAER, 2015)

De acordo com o PNAER (2015) toda a estratégia de ER está assente no objetivo de atingir 100% de eletricidade produzida através de fontes renováveis em 2020. A definição das fontes e tecnologias será feito com o desenvolvimento de um Plano Diretor do Setor Elétrico (PDSE), sendo que a seleção das fontes terá em conta os parâmetros técnicos e as diferenças sociais, económicas, ambientais e do perfil de consumo de cada uma das nove ilhas habitadas.

4.7. Enquadramento legal

Durante um longo período, Cabo Verde vivenciou uma desorganização em termos legislativos no setor da energia, e sendo que este é considerado um setor chave para o desenvolvimento do arquipélago, devem ser tomadas as medidas necessárias para promover o desenvolvimento. E com a exponencial expansão das energias renováveis pelo mundo e a adoção das mesmas no país, fez-se sentir a necessidade da criação de legislação própria ao aproveitamento das ER em Cabo Verde. Feito um levantamento da mesma, apresento os Decretos-Lei mais importantes, criados com o objetivo de dar impulso às ER:

- a) Decreto-Lei n.º 54/99, 30 de agosto, que estabeleceu as bases do sistema elétrico de Cabo Verde, registando-se na época, o arranque de uma profunda alteração do quadro institucional, legal e até empresarial relativas ao exercício das atividades no setor, que se revestia de interesse para o serviço público.
- b) Decreto-Lei n.º 14/2006, de 20 de fevereiro, alterou os artigos do Decreto-Lei de n.º 54/99, de 30 de agosto, devido a experiência colhida com a respetiva aplicação e a necessidade de dar um novo impulso ao setor, potenciando a sua eficiência operacional, a sinergia com outros investimentos na atividade produtiva e o maior e melhor aproveitamento dos recursos endógenos levou a que se introduzisse algumas alterações no diploma em referência.
- c) Portaria n.º 201/2008, de 22 de fevereiro, estabelece que o Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, estabeleceu um regime jurídico aplicável à produção de eletricidade através de unidades de microprodução, atribui à Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) competências para a coordenação do respetivo processo de gestão, o qual está centralizado numa plataforma eletrónica designada SRM – Sistema de Registo de Microprodução, que deve conter o registo das unidades de microprodução, como todos os elementos previstos naquele diploma.
- d) Decreto-Lei n.º 1/2011, de 3 de janeiro, que prevê a elaboração de um Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis (PESER), que constitui um plano de

ordenamento de território para os efeitos das energias renováveis, através do qual são criadas as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER), áreas destinadas para projetos renováveis e seleccionadas com critérios ambientais, o que permite a dispensa de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), em que é admissível a localização de Centros Eletroprodutores.

- e) Resolução n.º 7/2012, de 3 de fevereiro, que aprova a Plano Estratégico Sectorial das Energias Renováveis (PESER), e são identificadas as Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER) em que é admissível a localização de Centros Eletroprodutores;
- f) Decreto-Lei n.º 18/2014, de 10 de março, altera os artigos 4.º, 8.º, 18.º, 37.º, 38.º, 44.º, 45.º, 46.º, 56.º, 58.º, 61.º, 64.º, 69.º e 72.º, do Decreto-Lei n.º 1/2011, de 3 de janeiro, que estabelece as disposições relativas à aprovação, ao incentivo e ao acesso, licenciamento e exploração inerentes ao exercício da atividade de produção independente e de auto produção de energia elétrica, com base em fontes de energias renováveis.

Com a criação desta legislação, Cabo Verde pode cada vez mais aproveitar de forma organizada a utilização dos recursos endógenos.

CAPÍTULO V

5. METODOLOGIA

A crescente escassez de água potável e energia aponta positivamente para soluções que utilizem o potencial energético local, contudo sem degradar o meio ambiente. A associação de duas tecnologias modulares, a osmose inversa e a fotovoltaica, possibilita a obtenção de água potável em locais remotos onde a energia solar é abundante (ARAÚJO, 2008). A metodologia aplicada no presente trabalho trata da descrição dos materiais, equipamentos e métodos aplicados ao desenvolvimento de um projeto de dimensionamento de um sistema de dessalinização via osmose inversa, que tem como fonte de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico solar. Assim sendo, de uma forma geral este se baseou nos seguintes propósitos:

- Pesquisas bibliográfica-documental, levantamento da informação e dados apropriados;
- Análise do sistema a desenvolver, com base na localização e análise de dados;
- Conversas com técnicos, e realização de visitas ao terreno para recolha de dados;
- Dimensionamento e simulação do sistema experimental OI-FV no Software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables);
- Avaliação da viabilidade económica do sistema.

CAPÍTULO VI

6. ESTUDO DE CASO – Abastecimento de água a propriedades agrícolas em São Vicente

6.1. Enquadramento e localização

A escolha do local para instalação do projeto, levou em consideração a disponibilidade de água bruta para alimentação do sistema OI – FV, suprimento de água potável, já que não há ligação à rede pública de abastecimento de água, a organização social do local e, a fraca situação económica da localidade. Desta forma o sistema está projetado para produzir 12000 L de água *per capita* por dia, a ser utilizada na agricultura e para consumo humano.

O sistema de dessalinização está projetado para utilizar água salobra, sendo assim, escolheu-se a ilha de São Vicente, que para além de dispor de um grande potencial solar, ainda dispõe de uma enorme disponibilidade de água do mar e de água salobra, para alimentação do mesmo. Uma das localidades da ilha que apresenta tal disponibilidade de água salobra é o vale da Ribeira do Calhau, que compreende as localidades do Madeiral e Calhau (Fig. 24).

Segundo o INE, Censo 2010, os agregados familiares das três localidades eram de 215. Sendo que Madeiral, Ribeira de Calhau e Calhau tinham uma população de, respetivamente, 295, 454 e 428 pessoas. Destes 215 agregados familiares, a condição social do nível de vida e de conforto era classificado como: a) muito baixo, com 21.4%; b) baixo, com 34%; c) médio, com 33.5%; d) alto, com 7.9%; e e) muito alto, com 2.3% (ALMADA, 2016). A Ribeira de Calhau é uma localidade que vive principalmente da agricultura e da pecuária. Na agricultura é utilizada a água salobra para irrigação das culturas, contudo algumas culturas se desenvolvem melhor usando água mais doce ou com concentrações mínimas de sais. A água dita salobra é proveniente de poços com uma salinidade bem menor do que a da água do mar, contudo continua acima do limite de potabilidade e de uso doméstico.⁴

⁴ Site: **AQUANET**. URL: <http://www.sattamini.com.br/Processo.html> Acedido à 29 de abril de 2017.

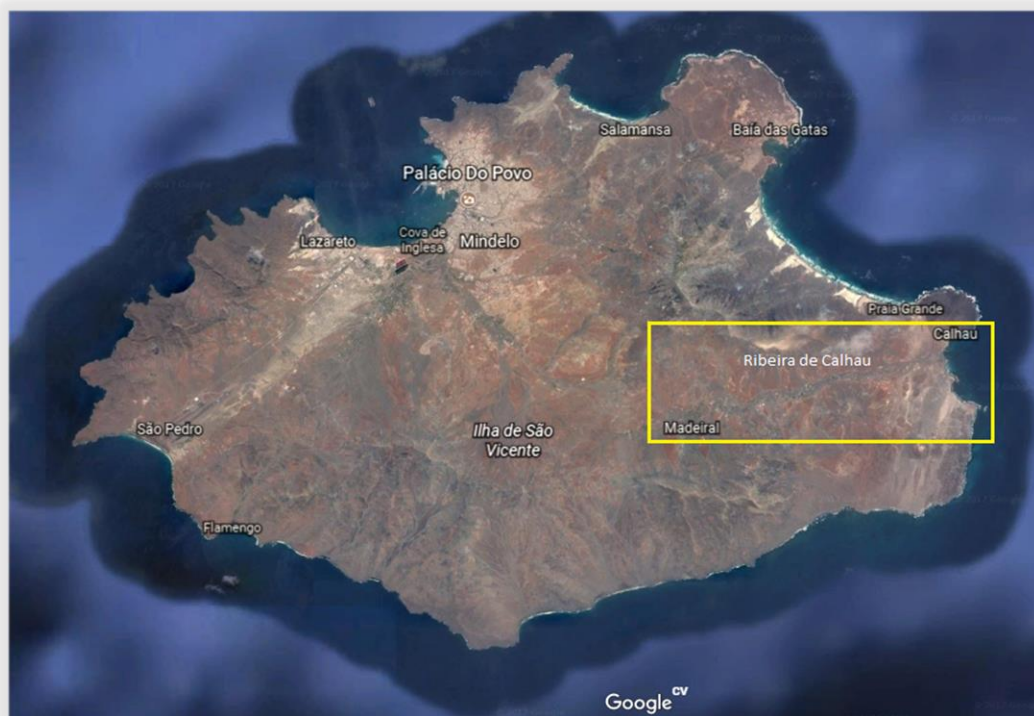


Fig. 24 - Localização da Ribeira do Calhau, Madeiral e Calhau - São Vicente
(Fonte: Google Earth, 2017)



Fig. 25 - Localização em 3D da localidade Ribeira de Calhau
(Fonte: Google Earth, 2017)

6.2. Amostragem da qualidade da água salobra

Para se proceder a análise de qualidade da água salobra da região, segundo as características da mesma, fez-se uma visita à Ribeira de Calhau no dia 31 de agosto de 2017. Nesta visita, que teve o auxílio da Bióloga Hirondina Évora responsável do laboratório da Electra Norte – Delegação de Mafra, São Vicente. A chegada ao local deu-se por volta das 9h30, e embora o tempo apresentasse alguma possibilidade de chuva, a visita decorreu da melhor forma cumprindo-se o objetivo. Fez-se a recolha das amostras e posteriormente a medição utilizando um multiparâmetro do modelo HQ40D Portable Multi Meter que mede a Condutividade, STD, Salinidade, pH, Temperatura, Resistividade da água e Oxigénio Dissolvido.

As amostragens foram realizadas em duas propriedades agrícolas da referida localidade, para se poder proceder a comparação dos resultados, sendo as referidas propriedades visitadas de Nhá Natália (Fig. 26) e do Sr. Zeca Neves (Fig. 27).



Fig. 26 - Propriedade agrícola de Nhá Natália



Fig. 27 - Propriedade agrícola do Sr. Zeca Neves

Das análises realizadas, os resultados podem ser consultados na tabela 9, intitulado as propriedades de Nhá Natália e do Sr. Zeca Neves, como, propriedade A e propriedade B, respetivamente. É importante salientar que os valores das amostragens foram obtidos poucos dias depois da chuva, o que pode ter baixado ligeiramente a salinidade habitual do poço.

Verifica-se que, de todos os parâmetros, o único que não varia é a temperatura, sofrendo os outros uma variação significativa. A condutividade e o STD, são dois parâmetros que estão interligados, pois quanto maior a condutividade maior é a quantidade de STD, e isso pode ser comprovado na tabela abaixo.

Tab. 9 - Resultados das amostras

Parâmetros	Propriedade A	Propriedade B
Condutividade	3.96 $\mu\text{S/cm}$	4.45 $\mu\text{S/cm}$
STD	1.870 mg/L	2.110 mg/L
pH	7.24	7.32
Temperatura	28.4 °C	28.4 °C

Analisando a mesma, pode-se ver que a condutividade, STD e o pH são maiores na propriedade B do que na propriedade A. Esta disparidade de valores deve-se ao facto da propriedade do Sr. Zeca Neves se situar mais perto do mar, o que significa que quanto mais próximo do mar maior é a intrusão salina nos lençóis freáticos e maior a alcalinidade da água. Os resultados das amostras permitiram escolher a propriedade de Nhá Natália para instalação do sistema, pois esta dispõe de 3 poços, embora se tenha tirado a amostra de apenas um deles. Para além disto a propriedade de Nhá Natália encontra-se a montante da outra propriedade o que permite, para o caso de haver excesso de produção de água, abastecer a outra propriedade, ou qualquer outra a jusante por gravidade.

6.3. Sistemas de dessalinização por osmose inversa e painéis fotovoltaico

O esquema do sistema proposto para este trabalho é ilustrado na figura 28. Neste esquema é possível verificar os principais componentes do sistema de dessalinização via osmose inversa acoplado ao sistema de geração de energia elétrica através da energia solar fotovoltaico.

O sistema está desenhado para ser o mais funcional/otimizado e eficiente possível, por isso é apresentado um esquema completo para produção de uma quantidade significativa de água potável por dia, mas não muito variada.

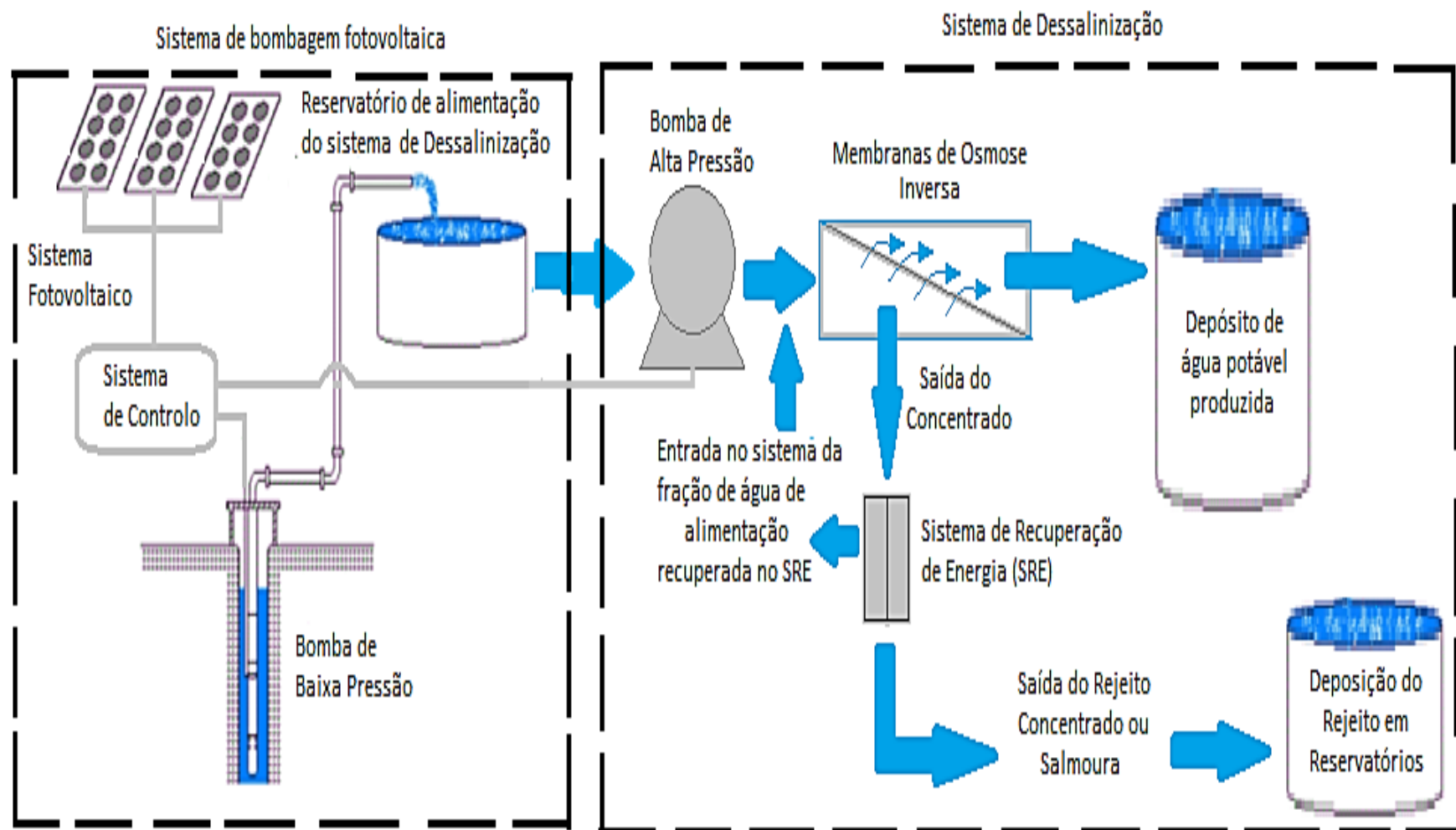


Fig. 28 - Sistema de dessalinização via osmose inversa acoplado ao sistema solar fotovoltaico

6.3.1. Caraterísticas do sistema de dessalinização

Para se poder escolher os equipamentos desloquei-me ao MAA (Ministério da Agricultura e Ambiente) para uma conversa com o Técnico Agrónomo Guilherme Pires, de modo a obter alguns dados essenciais ao projeto, pois o sistema é idealizado para suprir as necessidades de irrigação agrícola e também consumo humano. Segundo o Técnico, a agricultura tem como principal objetivo a alimentação dos povos, para além de alimentação do gado, exportação, industrialização, e outros, tendo sofrido algumas dificuldades na produtividade da localidade da Ribeira do Calhau devido a elevada salinidade (em STD) da água usada para irrigação, que normalmente está acima dos 2000 mg/L. Para que seja possível um melhor desenvolvimento e produtividade das culturas a salinidade deve estar sempre abaixo desse valor. Quanto menor este valor maior a produtividade.

6.4. O dessalinizador

A escolha do dessalinizador, se baseia, principalmente nos limites de STD e no preço relativo à quantidade de água que se pretende produzir. O modelo escolhido foi RO-2000 e tem uma produção de 2000 L/H que se adequa aos parâmetros do local escolhido para instalação do sistema, de acordo com as especificações abaixo.

O dessalinizador obedece às seguintes caraterísticas:

- Dessalinização de água salobra;
- Capacidade de produzir 2000 L/H;
- Tensão 220 V /50 Hz;
- Potência nominal igual a 3.5 kW/H;
- Taxa de recuperação de água entre 50 a 60%; e
- Taxa de rejeição de sais de 97 a 99%.

De acordo com o fabricante o produto apresenta as seguintes vantagens:

- Pode executar e produzir água de forma contínua, altamente automática;
- Não precisa de produtos químicos para regeneração, fácil operação e manutenção;

- Baixo custo de operação e longa vida útil;
- Liga automaticamente quando cheio de água e desliga quando não há água;
- Lavagem automática da membrana RO e redução da velocidade de poluição;
- O interruptor de baixa pressão protege a bomba de alta pressão contra danos quando o abastecimento de água pára;
- O medidor de condutividade de produção de água monitora a qualidade da água em linha continuamente;
- Água de entrada e medidores de pressão de água densa monitora a pressão diferencial OI e mostra o tempo de lavagem.



Fig. 29 - Modelo RO-2000

6.4.1. Água de alimentação do sistema

A água a ser utilizada para a dessalinização como foi referido anteriormente, é a água salobra proveniente dos poços da localidade da Ribeira do Calhau, particularmente da propriedade de Nhá Natália. Antes da sua entrada no sistema, deve-se verificar algumas propriedades importantes, das quais irá depender a escolha dos equipamentos. Os principais parâmetros são: o limite de STD, a temperatura, a pressão e o pH da água de

alimentação. As membranas foram testadas para 2000 mg/L de cloreto de sódio (NaCl), à pressão de 125 psi (0,862 MPa), à temperatura de 25°C, com pH 8.

6.4.2. A membrana

A membrana a utilizar no sistema de dessalinização é o modelo RO Membrane Dow LCLE-4040. De acordo com as informações fornecidas pelo fabricante essas membranas oferecem excelente desempenho em termos de rejeição de fluxo, sal e orgânicos, e ainda resistência microbiológica.



Fig. 30 - RO Membrane Dow LCLE-4040

O sistema é capaz de rejeitar 97 a 99% dos contaminantes, segundo os dados do fabricante, a tabela 10 lista alguns elementos que podem ser rejeitados.

Tab. 10 - Guia de rejeição nominal da membrana

Elementos	Taxa de remoção (%)	Elementos	Taxa de remoção (%)
Cloreto de sódio (NaCl)	99.2	Sulfato de magnésio (MgSO4)	99
Fluoreto de sódio (NaF)	98	Cloreto de magnésio (MgCl2)	98
Cloreto de zinco (ZnCl2)	93	Dióxido de silício (SiO2)	98
Cloreto de cálcio (CaCl2)	99	Nitrato	93-98

6.4.3. Bomba

O dimensionamento do sistema fotovoltaico depende em parte da bomba. O sistema compreende duas bombas: uma bomba de baixa pressão e outra de alta pressão. A bomba de alta pressão é muito importante pois a partir desta começa o processo de dessalinização

forçando a água a entrar nas membranas, sendo esta bomba do sistema do tipo centrífuga vertical multi-estágios que é acionada por um motor elétrico com uma potência de 2.2 kW, permitindo um fluxo de 4.0 m³/h.

Na propriedade agrícola de Nhá Natália a bombagem já é realizada com o auxílio de aerobombas, e estas permitem tirar a água do poço e depositá-la nos tanques possibilitando e facilitando a rega gota a gota. Na configuração proposta neste projeto o dessalinizador é intercalado entre o poço e o sistema gota a gota.

Assim a bomba de baixa pressão servirá para bombear a água de alimentação do reservatório de água bruta para a etapa de pré-tratamento, tem uma potência de 0.75 kW.

6.5. Caraterísticas do sistema fotovoltaico

6.5.1. Estudo do potencial solar na ilha de São Vicente

Sendo que a energia solar é o combustível escolhido para energizar o sistema de dessalinização, foi feito um estudo detalhado do potencial de radiação solar da ilha de São Vicente para validar o uso da tecnologia de energia solar fotovoltaica.

A soma da radiação difusa e direta resultou em 12 mapas de radiação solar global (Fig. 31 e Fig. 32) para a ilha, correspondentes aos diferentes meses do ano de 2012 (ALVES, 2013). De acordo com Alves (2013), o valor energético solar da ilha de São Vicente, nos vários meses do ano é substancial, o que comprova o grande potencial relativo ao recurso energético solar.

Pode-se verificar (Fig. 31 e Fig. 32) que a radiação solar é maior entre os meses de maio a agosto (com maiores incidências), na qual o mês de julho com 187,46 kWh/m², apresenta a maior disponibilidade de energia solar. No entanto, a partir do mês de agosto a radiação diminui, tendo o mês de dezembro com o menor valor de radiação com uma incidência máxima alcançando os 104,43 kWh/m².

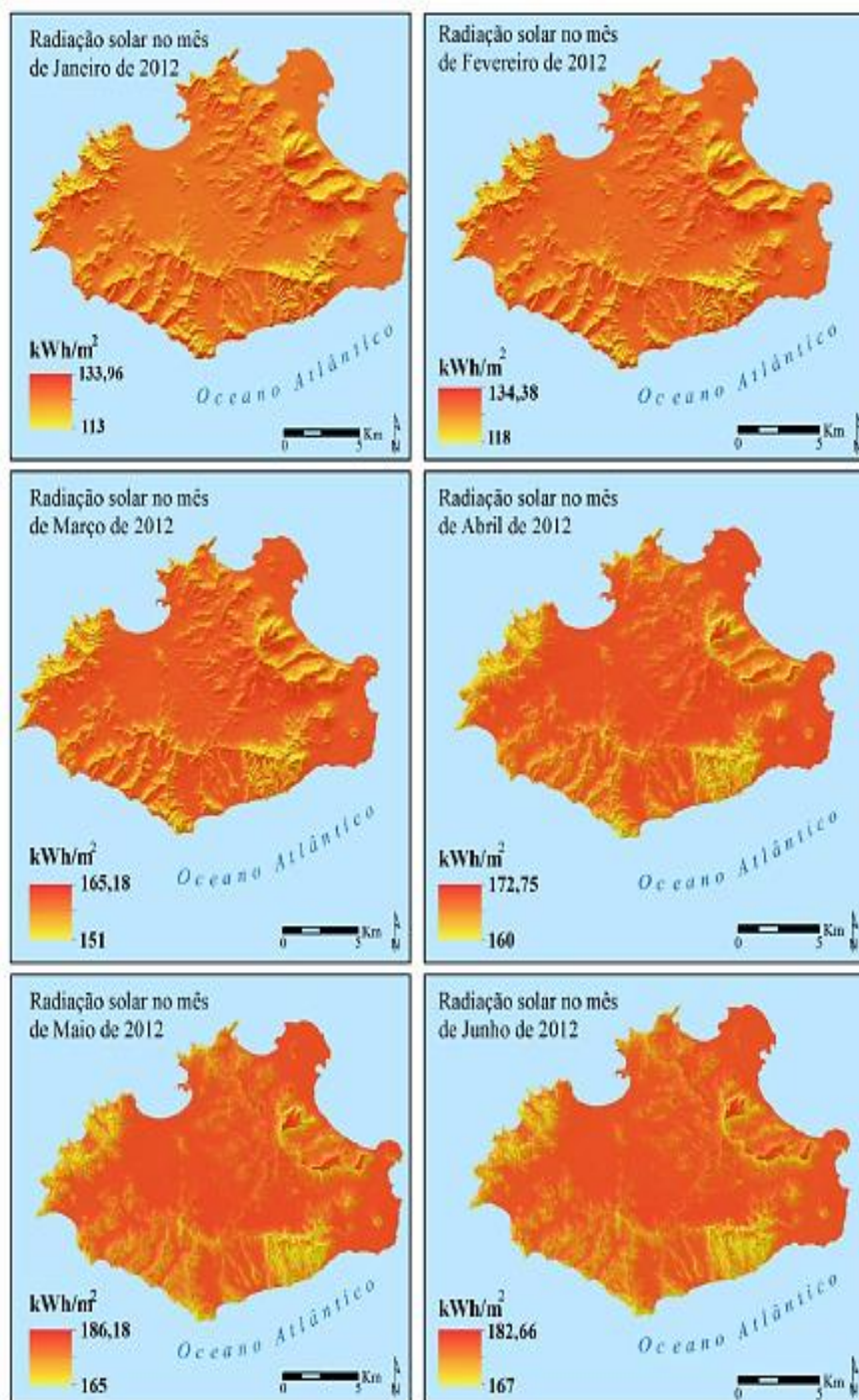


Fig. 31 - Radiação solar em kWh/m² nos meses de janeiro a junho de 2012
(Fonte: Alves, 2013)

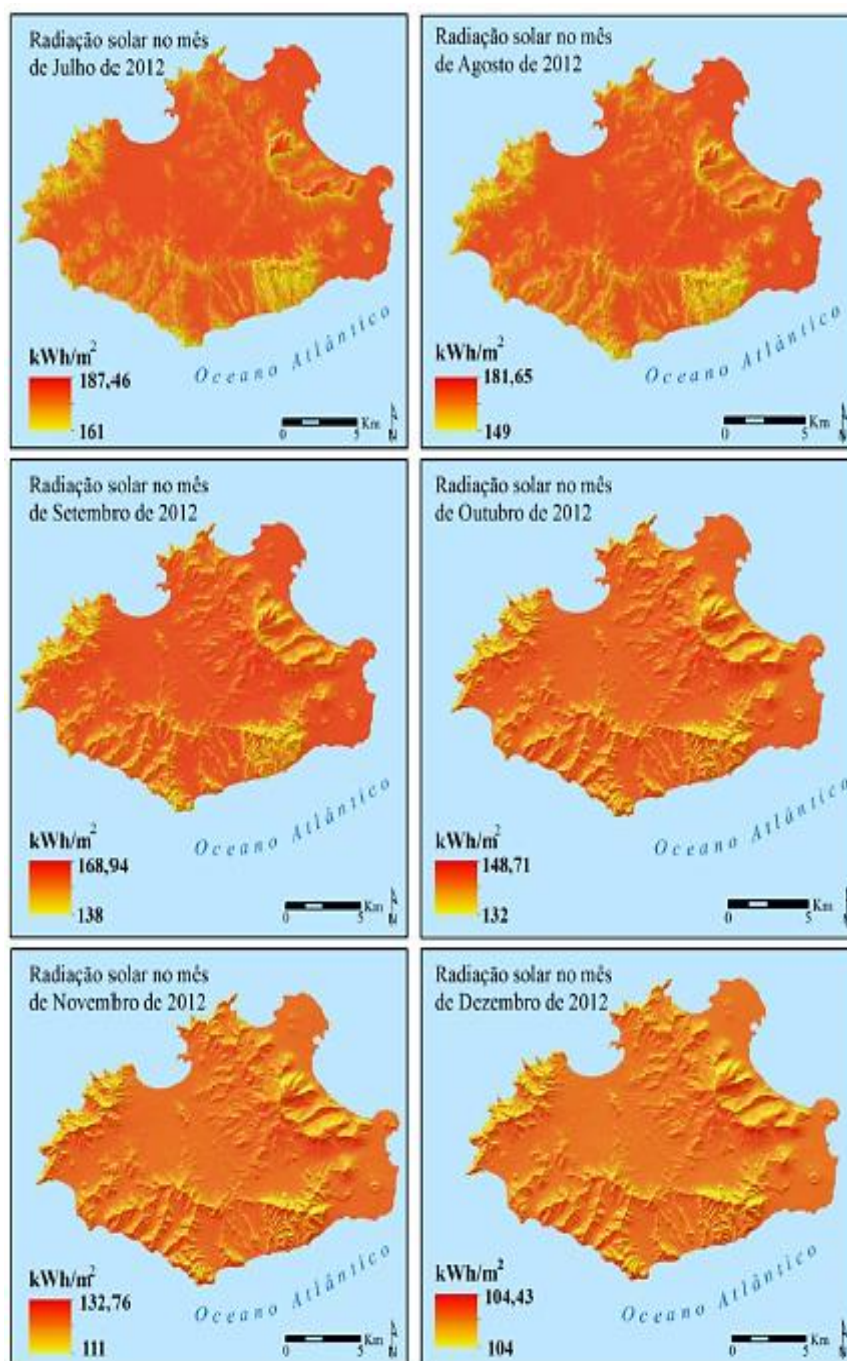


Fig. 32 - Radiação solar kWh/m² nos meses de julho a dezembro de 2012
(Fonte: Alves, 2013)

A radiação solar anual em São Vicente, foi obtida a partir da soma da radiação solar de cada mês, em Wh e posteriormente foi convertido em kWh/m², representada na figura 33.

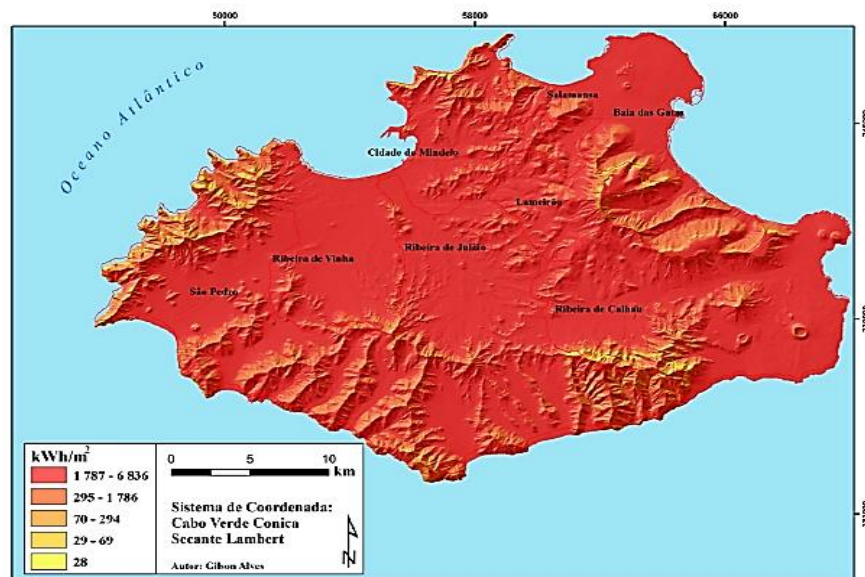


Fig. 33 - Radiação solar anual (2012) na ilha de São Vicente em kWh/m²
(Fonte: Alves, 2013)

No mapa é possível constatar a forte incidência da radiação solar, em quase toda a ilha, com uma variação mínima próximo dos 28 kWh/m² atingindo um máximo de 6800 kWh/m², em que as áreas de menor incidência correspondem as áreas montanhosas, pois a orografia cria áreas sombrias e isso dificulta a radiação solar anual, contudo estes casos se verificam mais a sul, sudoeste, e a nordeste da ilha (ALVES, 2013). Segundo o PERCV de 2011, a ilha apresenta uma média de radiação solar anual de cerca 2210 kWh/m², em que este valor ligeiramente superior ao da média nacional se situa nos 1800 kWh/m²/ano, para a inclinação e exposição natural do terreno.

Embora o vale da Ribeira do Calhau apresente os mesmos valores (máximos) que o restante da ilha, este é circundado por dois grupos de montanhas, a nordeste e sudoeste, sendo assim o sistema fotovoltaico a ser dimensionado e instalado deve ser bem localizado de modo a aproveitar de forma mais eficiente o potencial solar que dispõe.

6.5.2. Dimensionamento do sistema fotovoltaico no HOMER

Para dimensionar o sistema fotovoltaico alguns aspetos foram levados em consideração, que variam de acordo com a instalação do sistema de osmose inversa.

Tab. 11 - Dados do sistema fotovoltaico

Tipo de tensão	A tensão do dessalinizador é 220 V/ 50Hz ou 380 V/ 3 fase /50 Hz.
Tipo de corrente DC/AC	A corrente do dessalinizador é corrente alternada (AC).
Potência exigida	A potência do sistema OI é de 3.5 kW.
Perfil de carga/horas de funcionamento	O sistema OI funcionará somente no período em que há radiação solar suficiente, assegurando a produção de 2000 L/H, durante o período de 6 horas, que vai das 10h até às 16h.
Localização geográfica	O sistema fotovoltaico estará localizada perto do sistema OI, diminuindo a quantidade de cabos elétricos usados na interligação dos dois sistemas.

Para um sistema isolado, o critério de dimensionamento é a radiação disponível no mês de menor insolação, para assegurar o abastecimento durante todo o ano (CASTRO, 2009 citado por FERNANDES, 2013), em que São Vicente apresenta uma média anual de cerca de 2210 kWh/m², tendo dezembro como o mês com menor insolação (Fig. 31). O *software* de simulação a ser utilizado entra com estes fatores em linha de conta. A inclinação é outro fator muito importante para se poder aproveitar a radiação solar disponível de forma otimizada. Em Cabo Verde, a inclinação varia de 10° a 20°, contudo nas várias simulações realizadas considerou-se um ângulo de 17° orientadas a sul, pelo fato do país ter uma baixa latitude (ALMADA, 2016).

O *software* utilizado para simulação do sistema proposto é o HOMER, que foi desenvolvido pelo Nacional Renewable Energy Laboratory (NREL), para otimização de sistemas de geração de energia de micro e pequeno porte, baseados nas energias renováveis.

O *software* dimensiona neste caso apenas os painéis fotovoltaicos e o inversor, pois consiste em um sistema sem baterias. Iniciou-se o dimensionamento introduzindo-se a potência requerida pelo sistema de dessalinização, durante as 6 horas (10h às 16h) de funcionamento diário, obtendo um diagrama de carga diário, apresentado a seguir.

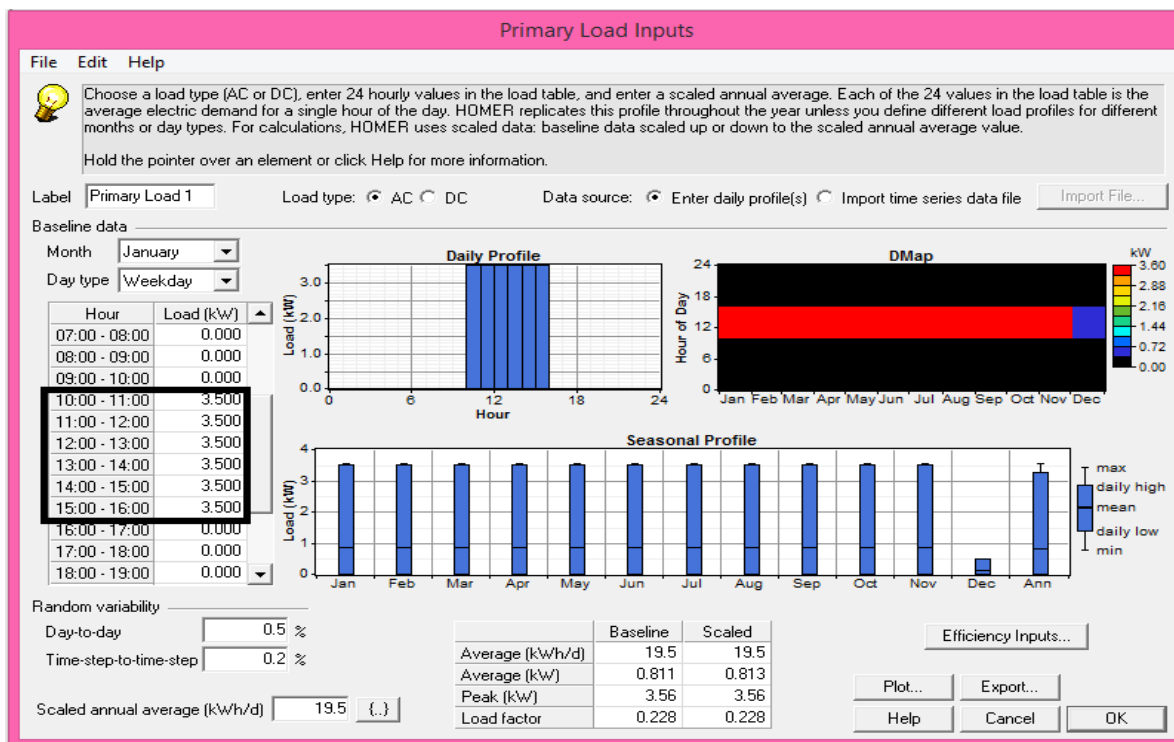


Fig. 34 - Dados de entrada da carga do sistema de dessalinização

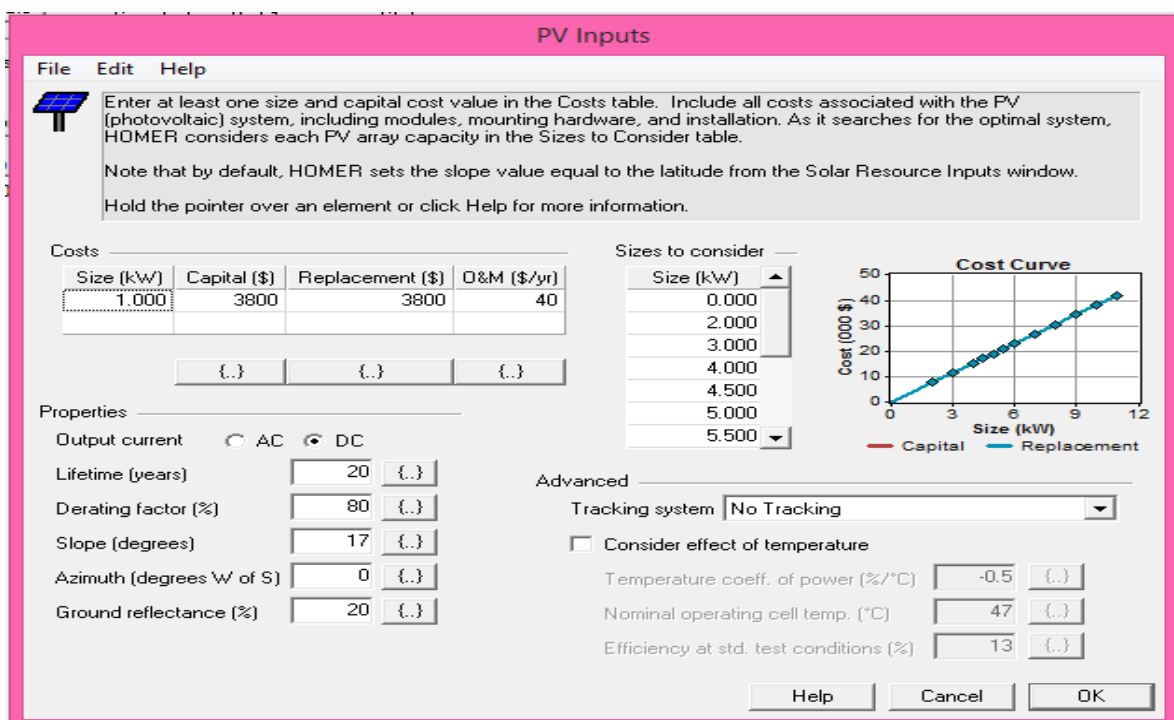


Fig. 35 - Dados de entrada dos painéis fotovoltaicos

Posteriormente, foi introduzido as propriedades requeridas para os painéis fotovoltaicos, para além das opções dos tamanhos em kW do arranjo fotovoltaico para que o HOMER pudesse calcular e encontrar a melhor opção (Fig. 35).

Sendo que o dessalinizador utiliza corrente alternada (AC), foi necessário adicionar um inversor, e procedeu-se também a introdução dos dados referentes ao inversor, definindo algumas opções de tamanhos em kW que o *software* poderia escolher (Fig. 36). Por fim foram adicionadas os dados do recurso solar com base na localização onde se pretende instalar o sistema OI – FV (Fig. 37).

Converter Inputs

File Edit Help

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
1.000	985	700	30

Size (kW) { } Capital (\$) { } Replacement (\$) { } O&M (\$/yr) { }

Sizes to consider

Size (kW)
1.000
3.000
4.000
5.000
6.000

Cost Curve

Cost (\$/kW) vs Size (kW)

— Capital — Replacement

Inverter inputs

Lifetime (years) 15 { }

Efficiency (%) 90 { }

☒ Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) 100 { }

Efficiency (%) 85 { }

Help Cancel OK

Fig. 36 - Dados de entrada do inversor

Solar Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses the solar resource inputs to calculate the PV array power for each hour of the year. Enter the latitude, and either an average daily radiation value or an average clearness index for each month. HOMER uses the latitude value to calculate the average daily radiation from the clearness index and vice-versa.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Location

Latitude 13° 10' North South Time zone (GMT-01:00) Azores, Cape Verde

Longitude 25° 19' East West

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import time series data file

Baseline data

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m2/d)
January	0.628	4.960
February	0.655	5.770
March	0.675	6.640
April	0.654	6.900
May	0.655	7.070
June	0.603	6.520
July	0.578	6.220
August	0.581	6.150
September	0.609	6.110
October	0.612	5.560
November	0.619	5.000
December	0.610	4.630
Average:	0.623	5.961

Global Horizontal Radiation

Daily Radiation (kWh/m2/d) vs Clearness Index

— Daily Radiation — Clearness Index

Scaled annual average (kWh/m2/d) 5.96 { }

Plot... Export... Help Cancel OK

Fig. 37 - Dados de entrada do recurso solar com base na localização

Depois de introduzido todos os dados necessários, iniciou-se a simulação no HOMER, obtendo o dimensionamento ideal para o sistema fotovoltaico, como apresentado a seguir.

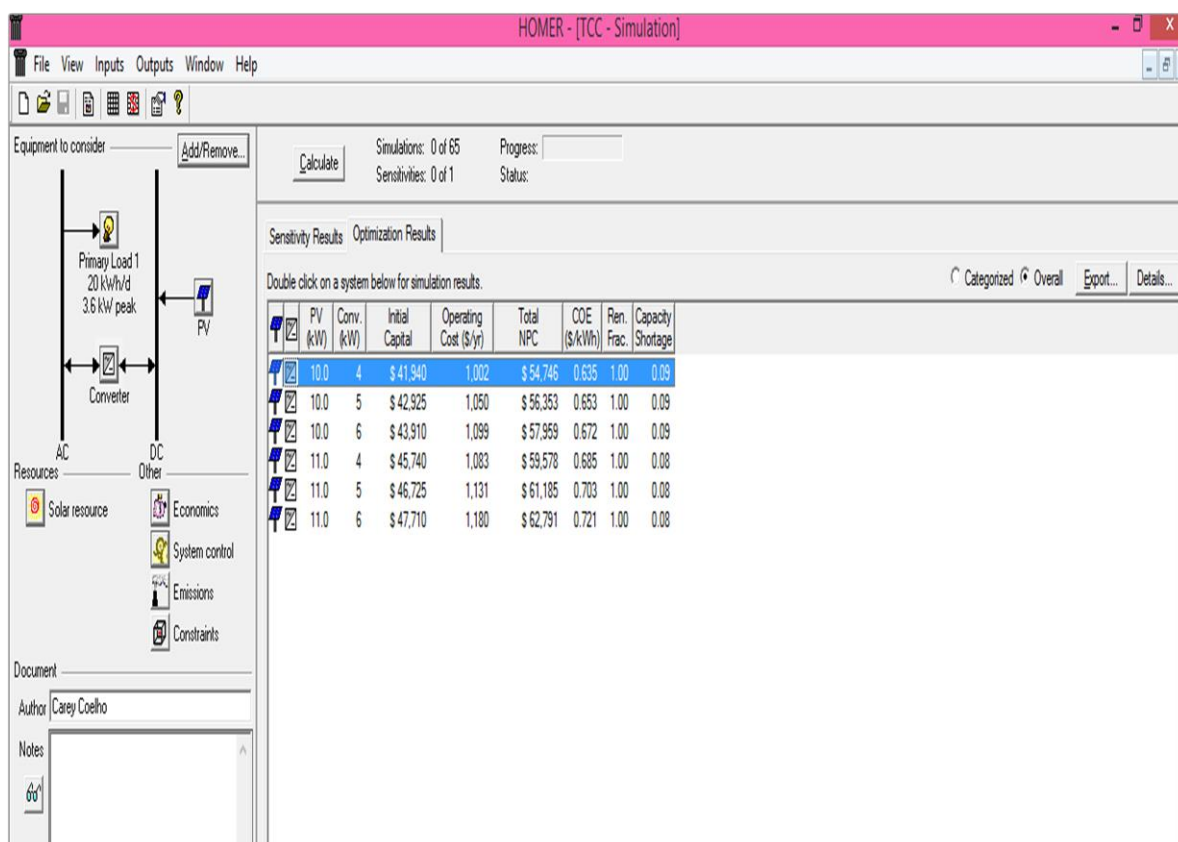


Fig. 38 - Resultados da simulação

De acordo com o relatório do HOMER em anexo (Anexo B) escolheu-se um sistema fotovoltaico com as seguintes características:

- Arranjo fotovoltaico com a potência de 10 kW;
- Inversor com potência igual a 4 kW.

6.6. Análise do sistema

6.6.1. Impactes ambientais

No processo de dessalinização enquanto a água purificada passa a ser processada e enviada para consumo humano, existe uma fração de água que sobra e sai do dessalinizador com uma supersaturação de sais, e esta deve ser eliminada. Esta

supersaturação é denominada de rejeito, concentrado ou salmoura, que é o subproduto do processo. Uma das grandes preocupações deve-se aos impactos ambientais que podem advir do descarte/destino final dado ao rejeito. Sistemas de dessalinização que utilizam a água do mar produzem uma quantidade bem maior de água supersaturada, e geralmente as centrais de dessalinização fazem a bombagem do rejeito de volta para o mar, o que traz consequências negativas, porque as espécies marinhas não estão preparadas para se adaptarem de imediato às mudanças bruscas de salinidade. Para além, que a água supersaturada também diminui os níveis de oxigénio na água, fazendo que os animais e plantas sufoquem.

Sendo que o sistema proposto no projeto utiliza a água salobra dos poços, subproduto obtido neste caso será supersaturada, mas não como no caso da utilização da água do mar que apresenta concentrações muito altas de sais. E devido ao facto do sistema não se situar muito perto do mar, o rejeito obtido neste caso em específico deve ser armazenado num depósito como é ilustrado na figura 28. Obviamente que ao fim de algum período de tempo, uma parte ou todo o rejeito deverá ser retirado do depósito e são precisas soluções que mitiguem os impactos negativos causadas ao ambiente.

O presente projeto apresenta algumas opções de descarte ou destinação final que podem ser aplicadas ao subproduto do processo de dessalinização:

- Pode ser efetuada o transporte do rejeito para deposição do subproduto no mar;
- Utilização na preparação de ração para o gado;
- Pode ser aplicado nos solos agrícolas;
- Evaporação solar para produção de sal.

Das opções mencionadas, as que se mostram mais amigas do ambiente e mais adaptáveis a realidade da localidade da Ribeira do Calhau, são:

- **Utilização para preparação de ração para o gado** – sendo que a localidade vive também da pecuária, esta torna-se uma boa opção;
- **Evaporação solar** – permite reduzir o volume do subproduto, transformando-o em um produto sólido, obtendo assim sais cristalizados.

As outras opções também podem ser adotadas, no entanto no caso da descarga no mar pode causar grandes danos a flora e a fauna da área, e no caso da aplicação nos solos agrícolas, embora algumas culturas se desenvolvam melhor com água um pouco mais salgada, corre-se o risco de salinizar os solos agrícolas e contribuir para o aumento da erosão, o que seria um grande problema para os agricultores e não só.

6.6.2. Impactos sociais

Sendo que a localidade da Ribeira do Calhau não dispõe de rede pública de abastecimento de água, o projeto se destina a fornecer água de qualidade tanto para a irrigação, como também para o consumo humano com abastecimento permanente assegurado pelo sistema, o que se traduz numa melhoria da qualidade de vida das pessoas. Pois para se abastecerem com água potável, os habitantes precisam se deslocar a fontenários com baldes e muitas vezes para ter a quantidade necessária de água, fazem o percurso mais do que uma vez. Embora o sistema esteja instalado em uma das propriedades agrícolas da localidade, poderá ser feito um alargamento do mesmo de forma modular, beneficiando outras propriedades, e assim promovendo o desenvolvimento social sustentável.

Aquando da instalação do projeto, será dada alguma formação a um número limitado de pessoas, de modo que seja realizada monitorização do sistema durante o seu funcionamento e manutenção, evitando problemas ou danos causados aos equipamentos por falta de pessoal qualificado existente no local.

6.6.3. Impactos económicos

Os painéis fotovoltaicos pelo fato de garantirem autonomia energética ao sistema de dessalinização, o consumo de água não irá se traduzir em custos elevados/exagerados aos residentes no que diz respeito à energia elétrica que será consumida pelo mesmo.

A nível da agricultura, de acordo com o Técnico Agrónomo Guilherme Pires, quando a salinidade da água for normal, isto é, dentro dos parâmetros, todas as variedades hortícolas e frutícolas podem ser cultivadas e produzem normalmente. Se tal mudança não se verificar, os agricultores continuarão com muitas dificuldades tanto para o

desenvolvimento das culturas, como também na produção das mesmas, por exemplo: o tomate pode crescer e até produzir, mas ao longo do desenvolvimento dos frutos estes são acompanhados de queimaduras ou manchas negras, e outros nem se quer desenvolvem. Nas fruteiras também são semelhantes e até as mudas transplantadas, as vezes não chegam a sobreviver, como é o caso de mangueiras, abacateiros, goiabeiras, e outros. Dessa forma vê-se claramente que a instalação de um sistema do tipo traz inúmeras vantagens económicas ao local que é instalado, permitindo uma melhoria significativa na vida das pessoas. Estes benefícios económicos dos agricultores, uma vez contabilizados e somados ao produto da venda dos excedentes de energia eléctrica, serão os *inputs* de um estudo económico de viabilidade deste tipo de projeto, que não cabe no âmbito do presente estudo.

6.6.4. Manutenção

O sistema fotovoltaico apresenta uma grande vantagem que é o fato de quase não requerer operações de manutenção, pois a eficiência de geração eléctrica do sistema pode ser afetada simplesmente pela deposição de pó nos painéis fotovoltaicos, o que pode ser resolvido rapidamente através de pequenas limpezas periódicas dos mesmos. Também pode ser efetuada alguma manutenção da estrutura de suporte dos painéis, a fim de evitar a oxidação do material. O *software* usado também estima os valores anuais de manutenção.

No entanto, o mesmo já não se verifica no sistema de dessalinização, porque este requer algumas ações de manutenção para que se possa manter a eficiência e os padrões normais de produção. Na dessalinização os equipamentos que são mais afetados e que precisam de manutenção, são as membranas de OI. Durante o processo dá-se a deposição dos materiais sobre as membranas que se manifesta causando declínio de operação, diminuição de vazão de permeado e/ou menor rejeição de sais, para além da queda de pressão entre a alimentação e o rejeito. De modo que se mantenha a operacionalidade, pode ser realizada:

- Uma limpeza química que consiste em aplicar produtos ácidos e/ou alcalinos na superfície das membranas de OI com o objetivo de retirar as incrustações depositadas;

- Substituição dos filtros de cartucho ao fim de um certo período, que deve ser realizada manualmente pelo operador, pois estes têm a finalidade de remover sólidos suspensos maiores que 1µm para proteção das membranas;
- Substituição das membranas por outras, quando não se pode proceder a limpeza química ou porque tal limpeza é realizada com muito tempo de atraso o que torna mais difícil a remoção das incrustações.

O tempo para se efetuar a manutenção do sistema deve constar das informações que são fornecidas pelo fabricante. Convém realçar que este sistema usa água salobra, pelo que os custos de manutenção são incomparavelmente menores do que o caso da água do mar.

6.6.5. Análise da viabilidade económica do sistema

A análise de viabilidade económica do sistema fotovoltaico faz parte do relatório do HOMER em anexo. Quanto ao projeto inteiro só com a estimativa da produção agrícola melhorada pelo uso da água potável e da venda dos excedentes de eletricidade, poderemos fazer um aturado estudo de viabilidade económica, o que está fora do âmbito deste trabalho.

Pode-se adiantar dos resultados do anexo B (relatório HOMER) que o LCOE (custo nivelado de energia) é de 0,64 dólares por kWh (48\$00 ECV), ou seja este é o valor mínimo a que temos de vender a eletricidade para pagar o sistema fotovoltaico durante o seu tempo de vida. Sendo que do mesmo relatório do anexo B se pode ver que o consumo médio de energia diária é de 19,5 kWh para produzir as 12 toneladas de água diárias, então permite-nos calcular um valor de consumo de 1,625 kWh por cada tonelada de água, ou seja um custo de 78\$00 ECV por tonelada produzida pelo sistema.

Admitindo que a tarifa de venda de água praticada pela ELECTRA para venda a grandes consumidores industriais é de 448\$00/ton e que a dos autotanques ficaria no mínimo a 270\$00 /ton podemos dizer que temos uma grande margem de lucro de quase 200\$00 por tonelada.

Este facto somado ao facto de termos um excedente de cerca de 50% de eletricidade produzida, isto significa que a nossa margem de lucro é ainda maior, podendo vender essa energia a um consumidor para carregar baterias e alimentar consumos diversos.

CONCLUSÃO

Durante a execução do trabalho pode-se constatar que Cabo Verde vive condicionado ao abastecimento de água, e consequentemente surgem limitações no que diz respeito ao desenvolvimento socioeconómico, principalmente nas zonas rurais onde a disponibilidade de água potável é menor. O abastecimento de energia elétrica, embora esteja melhorando, também é um dos problemas do arquipélago, existindo falhas no fornecimento do mesmo, e uma vez mais as zonas rurais são as mais afetadas. Com o objetivo de eliminar as adversidades do setor da água e energia, a dessalinização acoplada à energia solar fotovoltaica mostrou-se uma ótima opção. Com base no estudo da radiação solar verificou-se que Cabo Verde apresenta um alto potencial solar, tornando válido o uso de energia fotovoltaica, sendo que as energias renováveis são uma aposta futura no arquipélago, embora o país tenha algumas limitações financeiras, que condicionam o desenvolvimento nesta área.

A dessalinização via osmose inversa é uma solução para a escassez de água doce cada vez mais adotada. Apesar das facilidades de implementação, operacionalidade e manutenção, o uso da energia fotovoltaica exige um alto investimento inicial, como se pode concluir pelo relatório da simulação efetuado no HOMER, que deverá contar com algum subsídio do estado ou financiamento do banco. O sistema não requer uso de baterias, o que reduz os custos, contudo aumenta o excedente de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, e como alternativa pode ser usado para eletrificar alguns edifícios da localidade, produção de gelo ou outros consumos.

Este sistema foi idealizado para ser instalado em apenas uma das propriedades da localidade, no entanto conforme a necessidade e aderência da população pode ser alargado a mais propriedades agrícolas tornando a localidade autónoma, na medida em que temos 12 toneladas de água por dia e esse valor excede em muito as necessidades de rega da nossa propriedade.

Da análise de impactes ambientais, pode-se concluir que as opções escolhidas são as mais adequadas às características da zona rural. Quanto aos impactos socioeconómicos pode-se verificar que o sistema traz inúmeras vantagens, melhorando a qualidade de vida das pessoas que beneficiarão da instalação do sistema no local.

Para trabalhos futuros recomenda-se que seja realizada uma análise da viabilidade económica do sistema completo. Recomenda-se ainda que seja feito um estudo mais detalhado do local que se pretende implementar um sistema do tipo, fazendo um acompanhamento em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almada, B. M. (2016). *Dessalinização Através da Osmose Inversa Utilizando a Energia Solar Fotovoltaica*. Dissertação de Licenciatura, Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde.

Alvarenga, C. A. (2012). *Bombeamento de Água com Energia Solar Fotovoltaica*. Acedido a 9 de agosto de 2017, de: <http://www.solenerg.com.br/files/Bombeamento-de-agua-com-energia%20solar-Solenerg-Engenharia.pdf>

Alves, G. J. (2013). *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica nas energias renováveis: o potencial da energia solar na ilha de São Vicente – Cabo Verde*. Faculdade de Letras – Universidade do Porto, Portugal. Acedido a 13 de janeiro de 2017, de <http://hdl.handle.net/10216/68683>

Araújo, A. C. (2013). *Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal. Obtido a 14 de janeiro de 2017, de: https://run.unl.pt/bitstream/10362/10203/1/Araujo_2013.pdf

Barros, J. G. (2009). *OSMOSE INVERSA: o que você talvez gostaria de saber*. GT Águas – Artigos Técnicos. Obtido a 13 de janeiro de 2017, de: http://www.cerb.ba.gov.br/sites/www.cerb.ba.gov.br/files/sala_de_imprensa/publicacoes/DESSALINIZA%C3%87%C3%83O%20POR%20OSMOSE%20REVERSA_0.pdf

Benitez, D., Bricenõ-Garmendia, C. (2010). – AICD. *As Infra-estruturas em Cabo Verde: Uma perspectiva Continental*. Relatório Nacional. Obtido a 15 de janeiro de 2017, de: http://siteresources.worldbank.org/INTCAPEVERDE/Resources/Cape_Verde_country_report_Web-PORTUGUESE.pdf

Borges, M. (coord.) & Morais, L. (elab.) (2012). *Cabo Verde no Contexto do Desenvolvimento Sustentável*. Obtido a 9 de agosto de 2017, de: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1035capeverde.pdf>

Castro, R. M. (2004). *Energias renováveis e produção descentralizada – Introdução à energia fotovoltaica*. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico- DEEC / Secção de Energia, Portugal.

Clayton, R. (2015). *Desalination for Water Supply*. Third Edition June 2015, Foundation for Water Research. Obtido a 15 de janeiro de 2017, de: <http://www.fwr.org/desal.pdf>

Cruz, C. E. (2012). *DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR ATRAVÉS DA ENERGIA SOLAR – CASO DE ESTUDO: SALAMANSA – CABO VERDE*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Algarve. Obtido a 15 de janeiro de 2017, de:

<http://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3291/1/Tesefinal2.pdf>

ELECTRA. (2015). Empresa de Eletricidade e Água, SARL – Cabo Verde. *Relatório e Contas 2015*. Obtido a 13 de janeiro de 2017, de: <http://www.electra.cv/index.php/2014-05-20-15-47-04/relatorios-sarl>

El-Ghonemy, A. M. (2012). *Water desalination systems powered by renewable energy sources: Review*. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111005193>

Fernandes, Â. S. (2013). *Adequabilidade da Energia Solar para a produção autónoma de água dessalinizada – Estudo de Caso: Praia-Baixo, Cabo Verde*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Obtido a 13 de janeiro de 2017, de: <http://hdl.handle.net/10400.5/6482>

Ferreira, R. & Silva, P. C. (2010). *ENERGIA SOLAR FV – Geração de energia limpa*. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1828/1058>

Fritzmann, C., Lowenberg, J., Wintgens, T. & Melin, T. (2007). State-of- the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916407004250>

Gesto, E. (2011). *Plano Energético Renovável - Cabo Verde*. Obtido a 21 de julho de 2017, de: http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/send/7-estudos/22-estudo-recurso-solar?option=com_jdownloads

Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: processes and systems*. Elsevier.

Maracajá, J. M. (2008). *AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA COM USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. Obtido a 23 de novembro de 2016, de: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp053786.pdf>.

Mathioulakis, E., Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2007). *Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art*. Obtido a 15 de janeiro de 2017, de: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MATIOULAKIS%20et%20al%202007%20Desalination%20Alternative%20Energy.pdf

Monteiro, A. D. (2011). *O Impacto das Energias Renováveis na Economia dos Países Emergentes: O Caso de Cabo Verde*. Lisboa: ISCTE-IUL: Dissertação de Mestrado. Obtido a 21 de julho de 2017, de: <http://hdl.handle.net/10071/3389>

Mohsen, M. S. & Jaber, J. O. (2001). *A Photovoltaic-Powered System for Water Desalination*. Desalination. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://aurak.ac.ae/publications/A-photovoltaic-powered-system-for-water-desalination.pdf>

Neves, D., Silva, V., Almeida, R., Sousa, F., & Silva, B. (2016). *Aspectos gerais do clima do arquipélago de Cabo verde – General aspects of the climate in the Cabo Verde archipelago*. Obtido a 9 de agosto de 2017, de: <http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/3466/pdf>

Nunes, L., Fernandes, J., Cardoso, J., Parente, J., Almeida, P., & Bettencourt, T. (2009). *DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DOCE NO PLANETA – Existe água doce suficiente para satisfazer as necessidades do planeta?* Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal. Obtido a 14 de janeiro de 2017, de: http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2009_10/relatorios/R209.pdf

PAGIRE. (2010). *Diagnóstico da situação dos recursos hídricos e do seu quadro de gestão*. Vol. 1. Obtido a 21 de julho de 2017, de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cvi119727.pdf>

Penâte, B. (2012). *Current trends and future prospects in the design os seawater reverse osmosis desalination technology*. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00119164/284?sdc=1>

Pereira, D. A. (2010). *Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de água*. Dissertação de Licenciatura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Obtido a 9 de agosto de 2017, de: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000529.pdf>

PNAER. (2015). *Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis – Período: 2015-2020/2030*. Cabo Verde. Obtido a 27 de julho de 2017, de: <http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php/component/jdownloads/download/6-planos/18-plano-nacional-de-energias-renovaveis>

Rosa, D. J. (2013). *Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares de Dessalinização de Água para consumo Humano: Um Estudo de sua Viabilidade e Configurações*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Energia IEE, Brasil. Obtido a 18 de novembro de 2016, de: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-07032014-161629/pt-br.php>

Silva, L. M. (n.d.). *Eletrónica Básica – Introdução*. Obtido a 9 de julho de 2017, de: <http://www.cp.utfpr.edu.br/chiesse/Eletronica/Introducao.pdf>

Silveira, A., Nuvolari, A., Degasperi, F. & Firsoff, W. (2015). *Dessalinização de Águas*. São Paulo: Oficina de Textos.

Soares, A. K. (2008). *AVALIAÇÃO DE UM DESSALINIZADOR VIA OSMOSE INVERSA USANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO DO CONSUMO ENERGÉTICO E CUSTOS*. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil. Obtido a 23 de novembro de 2016, de: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp053808.pdf>

Souza, R. (ed. lit.) (2016). *BLUE-SOL. OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – LIVRO DIGITAL DE INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS SOLARES*. Obtido a 23 de novembro de 2016, de: <https://pt.scribd.com/doc/307285540/Livro-Digital-de-Introducao-aos-Sistemas-Solares-novo-pdf>

WHO. (2003). *The right to water*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Obtido a 14 de janeiro 2017, de: <http://www.righttowater.info/the-human-rights-based-approach-to-development-and-implications-for-fieldwork-in-water-and-sanitation/rtwrev/>

WHO. (2007). *Desalination for Safe Water Supply, Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Obtido a 14 de janeiro de 2017, de: http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf

WEBGRAFIA

AQUANET, <http://www.sattamini.com.br/Processo.html>, Acesso a 29 de abril de 2017

Energias Renováveis, Cabo Verde, <http://www.energiasrenovaveis.cv/index.php>, Acesso a 27 de julho de 2017

INE, Instituto Nacional de Estatísticas, inecv@ine.gov.cv, Acesso a 21 de agosto de 2017

Inovação e Tecnologia, <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010170031001>, Acesso em 29 de abril de 2017

ANEXOS

Anexo A

Para mais detalhes do sistema de dessalinização via OI visitar o *site*:

<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/2000l-h-ro-filter-system-brackish-water-desalination-plant-1052886624.html?spm=a2700.8699010.29.37.1a42b2ef4QkVJN>

Pecas do equipamento



Fatura Pró-forma do equipamento



Guangzhou Kai Yuan Water Treatment Equipment Co., Ltd


Address: Qing Cha Road No.7, Baiyun District
GuangZhou City, GuangDong Province, China
Contact : Cancy Luo
contact number : 86-13711203220

Tel Number: 86-020-81798225
Fax Number: 86-020-81994735
E-mail: kywater01@aliyun.com
website: <http://kywater.en.alibaba.com/>

2T/H RO system Quotation

To: Carey Coelho
Email: carevcoelho@gmail.com
Tel:

From: Cancy
Date: 2017.9.6
No. E2701

Device configuration table						
Item No.	Equipment Name	Place of origin	Quantity	FOB Guangzhou Unit Price (USD/SET)	G.W (KG)	Size(MM)
1	Raw water pump CHL4-40	HANGZHOU NANFANG	1 pc	US\$5,600.00	600	Rack:2500X1000X1700mm
	A.Flow: 5.0m3 / H, Head: 26m, K = 0.75kw					
	B.include: Inlet/outlet water valve, pipe etc.		1 batch			
2	Quartz sand filter φ600 × 1900	KAI YUAN	1set			
	A. Tank Material: FRP					
3	B. Manual control valve		1 pc			
	Activated carbon filter φ600 × 1900	KAI YUAN	1set			
4	A. Tank Material: FRP					
	B. Manual control valve		1 pc			
	Security filter	KAI YUAN	1set			
5	A. Material: Stainless Steel					
	B. Filter cartridge type: 20 "x 5μm ,7 core		7 pcs			
	High-pressure pump CDL4-12	HANGZHOU NANFANG	1 pc			
6	A. Flow: 4.0 m3 / h, head: 95m, K = 2.2kw					
	Reverse osmosis water system Capacity: 2.0m3 / h, maximum working pressure: 1.5MPa, desalination rate:97%, system water use efficiency: ≥ 50%	KAI YUAN	1set			
	A. Membrane component 4080, material: Stainless Steel	Domestic	4 pcs			
7	B. Membrane LCLE-4040	USA Dow	8 pcs			
	C. Stainless steel rack		1 pc			
	D. Inlet water solenoid valve DN32		1 pc			
	E. Dense water solenoid valve DN25		1 pc			
	F. High-pressure inlet water regulating valve DN32 SUS-304		1 pc			
	G. Dense water flow regulating valve DN25 SUS-304		1 pc			
	H. Valves, U-PVC pipe		1 batch			
	I. Instruments, meters, conductivity meter		1 batch			
8	Electronic Control System	KAI YUAN	1set			
	General control cabinet: PC program controller, air switch, AC contactors, thermal relays, lights, knob switches, pressure switches, level switches etc					
9	Filler					
	A.quartz sand	Domestic	450kg			
10	B.activated carbon	Domestic	125kg			
	UV sterilizer 12GPM					
10	scene valves, U-PVC pipe	Domestic	1 batch	This photo is only for your reference.		

A. The quotation process and equipment is meet client's requirements as following:

1. Raw water quality: well water, no specified the water quality. TDS ≤ 2000ppm
2. Output water application: pure drinking water
3. Reverse osmosis system product water: 2.0m³ / h (water production basis on water temperature 25℃).
4. Reverse osmosis water conductivity: ≤ 10μs/cm (local raw water conductivity ≤ 400μs/cm); Reverse osmosis desalination rate ≥ 97%.



Guangzhou Kai Yuan Water Treatment Equipment Co., Ltd

Address: Qing Cha Road No.7, Baiyun District
GuangZhou City, GuangDong Province, China
Contact : Cancy Luo
contact number : 86-13711203220

Tel Number: 86-020-81798225
Fax Number: 86-020-81994735
E-mail: kywater01@aliyun.com
website: <http://kywater.en.alibaba.com/>

2T/H RO system Quotation

To: Carey Coelho
Email: careycoelho@gmail.com
Tel:

From: Cancy
Date: 2017.9.6
No. E2701

B. the system is for the outside request:

- (1) water flow: run water $\geq 4.5\text{m}^3/\text{h}$
- (2) recoil water: about $4.5\text{m}^3/\text{h}$.
- (3) Power supply: power supply conditions 380V/3 phase/50Hz
- (4) total power capacity about: 3.5KW

C. Process:

raw water → raw water pump → quartz sand filter → activated carbon filter → security filter → high pressure pump → ro system → UV sterilizer → water supply point

D. Instruction:

1. Packaging : standard packing
2. Payment terms : By T/T or Western Union (30% deposit in advance, 70% balance pay before delivery)
3. Price terms: FOB Guangzhou, China
4. Lead time: 15 days upon receive the deposit.
5. MOQ : 1 set/shipment
6. Validity period: 30 days.

(A) Advantages:	(B) Features:
1. Can run and produce water continuously, highly automatic	1. Desalination Rate: 97%
2. No need chemical to regeneration, easy operation and maintainance	2. Low Operation Cost and Long life span
3. RO system uses imported USA DOW membrane	3. Reliable and stable
4. Automatic switch on when lack of water, and switch off when no water or full of water	4. Easily control and Maintained.
5. RO membrane auto wash and reduce the pollution speed.	5. Auto membrane flushing
6. Low-pressure switch protects high-pressure pump from damage when water supply stops.	6. Environmental protection
7. Production water conductivity meter monitors water quality online continuously.	
8. Input water and dense water pressure meters, monitor the RO differential pressure and remind the time of washing.	

Anexo B

Relatório dos resultados da simulação no HOMER

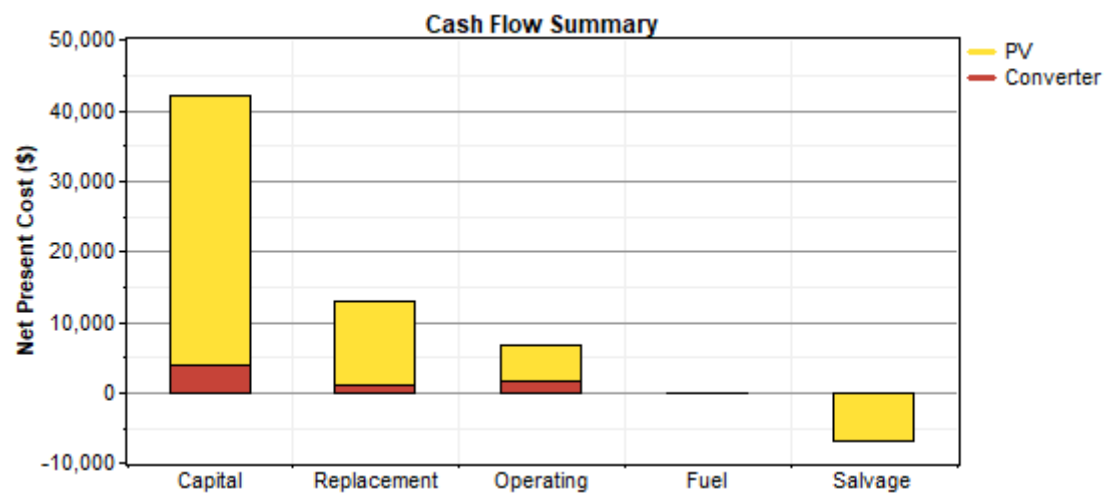
System Report - TCC – Simulation

System architecture

PV Array 10 kW
Inverter 4 kW
Rectifier 4 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 54,746
Levelized cost of energy	\$ 0.635/kWh
Operating cost	\$ 1,002/yr



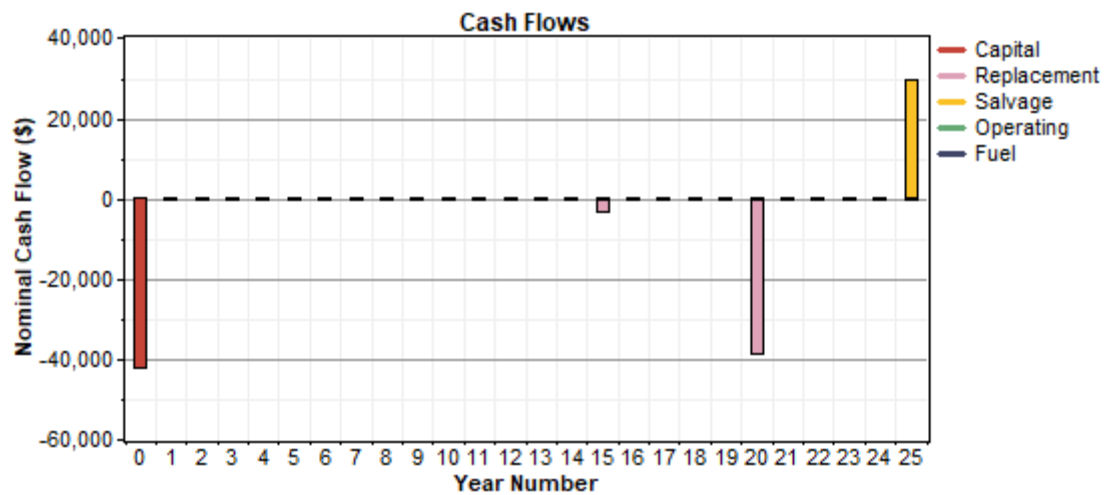
Net Present Costs

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
PV	38,000	11,849	5,113	0	-6,640	48,321
Converter	3,940	1,168	1,534	0	-217	6,425
System	41,940	13,017	6,647	0	-6,858	54,746

Annualized Costs

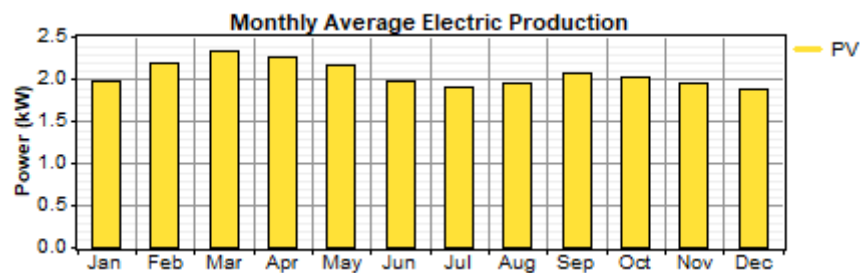
Component	Capital (\$/yr)	Replacement (\$/yr)	O&M (\$/yr)	Fuel (\$/yr)	Salvage (\$/yr)	Total (\$/yr)
PV	2,973	927	400	0	-519	3,780
Converter	308	91	120	0	-17	503

Quantity	Value	Units
Excess electricity	10,521	kWh/yr
Unmet load	370	kWh/yr
Capacity shortage	665	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	
System	3,281	1,018 520 0 -536 4,283



Electrical

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	18,018	100%
Total	18,018	100%

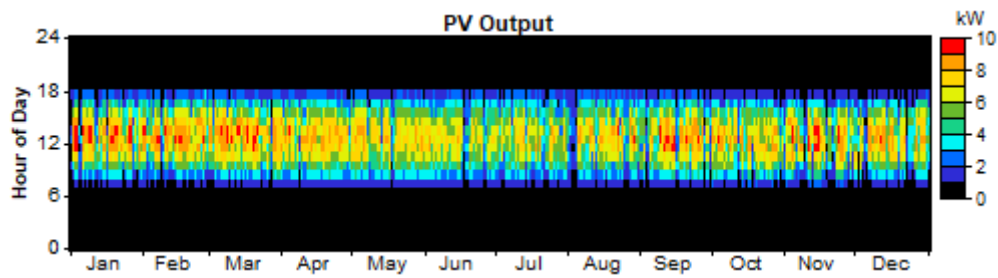


Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
AC primary load	6,747	100%
Total	6,747	100%

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	10.0	kW
Mean output	2.06	kW
Mean output	49.4	kWh/d
Capacity factor	20.6	%
Total production	18,018	kWh/yr

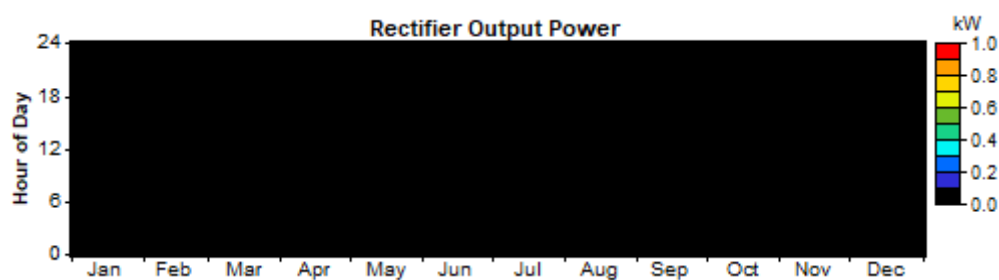
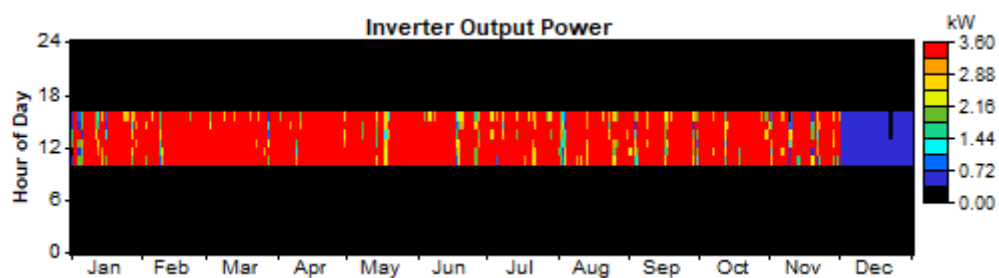
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	9.87	kW
PV penetration	253	%
Hours of operation	4,383	hr/yr
Levelized cost	0.210	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	4.00	4.00	kW
Mean output	0.77	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	3.56	0.00	kW
Capacity factor	19.3	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	2,190	0	hrs/yr
Energy in	7,497	0	kWh/yr
Energy out	6,747	0	kWh/yr
Losses	750	0	kWh/yr



Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	0
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0

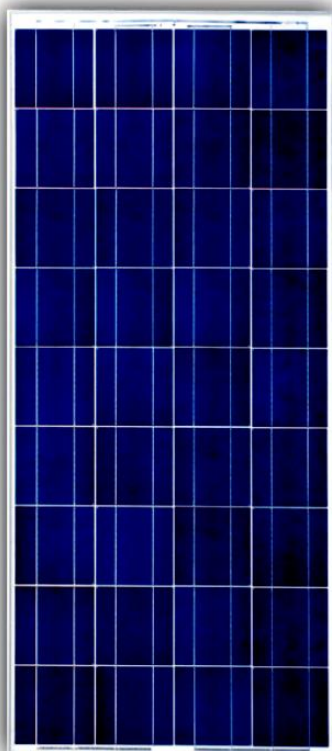
Anexo C

Equipamentos escolhidos para o sistema fotovoltaico:

Módulos fotovoltaicos para el mañana



➔ Módulo fotovoltaico A-150P/160P TYCO



10
años de
garantía

+30
años en
el sector

Los módulos de ATERSA están diseñados y contruidos teniendo presente su larga vida útil. Por este motivo ATERSA cuida de forma especial la elección de todos y cada uno de los componentes que incorporan, haciéndoles pasar por múltiples y rigurosos controles de calidad, tanto antes, como en la propia producción, para garantizar una altísima eficiencia y durabilidad.

Los más de 30 años que llevamos en el sector, nos hace acumular una experiencia que volcamos en todos los productos que fabricamos.

Así mismo, la instalación de los módulos se facilita mediante el uso de diferentes sistemas diseñados por ATERSA, que nos diferencian claramente de los productos estándar del mercado.

CERTIFICADOS



ISO 9001, 14001
IEC 61215 (Ed.2)
IEC 61730 (Ed.1)
MCS,

RECICLABLE



Cuidado del medioambiente.
Módulos reciclables.

LARGA DURACIÓN



Garantizada la Potencia
de salida: 25 años.
*10 años, libre de defectos de fabricación.

SERVICIO



Servicio integral.
Asesoramiento técnico,
servicio postventa,
mantenimiento,
reparaciones.

SISTEMA HOOK™



Montaje rápido y sencillo.
Sistema de Fijación Hook™.
Mínimo mantenimiento.

ROBUSTEZ



Cristal templado con alto nivel de transmisividad de 3,2mm de espesor. Robusto marco. Caja de conexiones TYCO IP 65.

FIABILIDAD



Excelente respuesta en condiciones de baja luminosidad.
Garantizada por su tecnología cristalina.

RESISTENCIA



Resistencia a cargas de viento de 2400 Pa y hasta 5400 Pa de nieve.

Para una información más detallada de los términos de la garantía, consulte: www.atersa.com

Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

	A-150P	A-160P
Potencia Nominal (±5%)	150 W	160 W
Eficiencia del módulo	15,42%	16,45%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,10 A	8,43 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	18,52 V	18,99 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,47 A	8,84 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	23,20 V	23,40 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

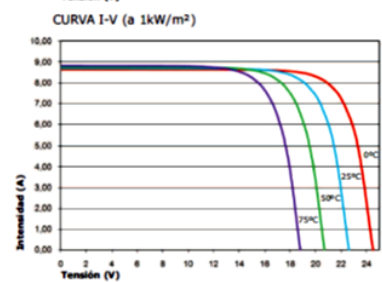
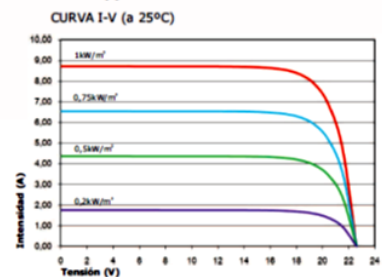
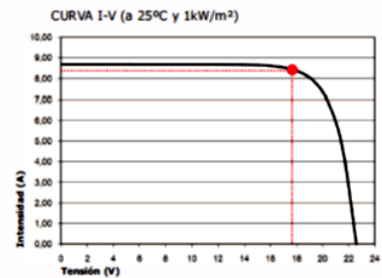
Dimensiones (mm ± 2mm)	1476x659x35
Peso (kg)	11,9
Área (m ²)	0,97
Tipo de célula	Policristalina 156x156mm (6 pulgadas)
Células en serie	36 (4x9)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado o pintado en poliéster
Caja de conexiones	TYCO IP65
Cables	-
Conectores	-

Rango de funcionamiento

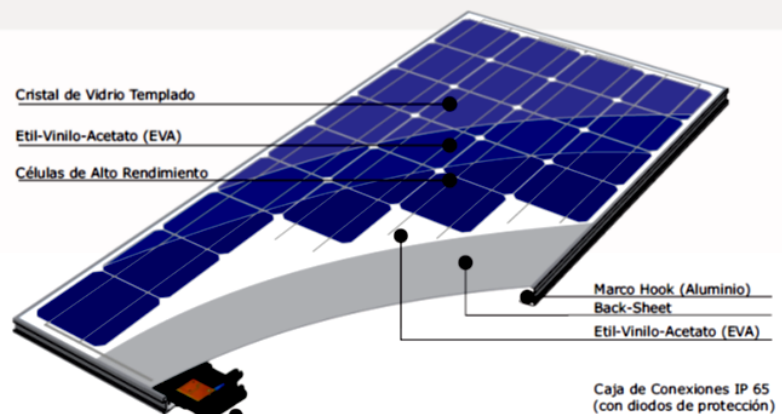
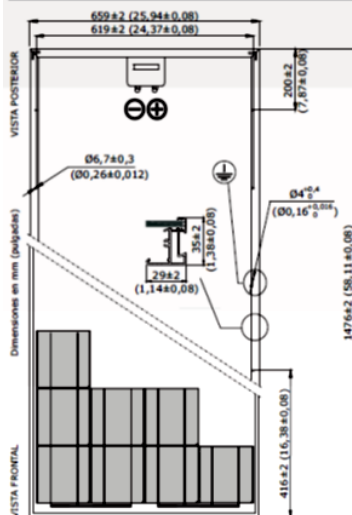
Temperatura	-40 °C a +85 °C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento	2400 Pa (130 km/h)
Carga Máxima Nieve	5400 Pa (551 kg/m ²)

* Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-150P



* Max. Corriente Inversa (IR): 15,1A



VISTA GENÉRICA CONSTRUCCIÓN PANEL

NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

➔ www.atersa.com • atersa@elecnor.com
• Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111

Revisado: 05/09/17
Ref.: MU-SP (1) 4x9-1 TY
© Atersa S.L. 2016



SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 including SMA SMART CONNECTED



SMA Smart Connected

- Investment security included
- Automatic monitoring by SMA
- Proactive information and automatic service

Easy to Use

- Safe plug and play installation
- Commissioning via smartphone or tablet
- WLAN and intuitive webserver

Everything at a Glance

- Free online monitoring
- PV system data viewable via smartphone

Future-Proof

- SMA storage solutions, intelligent energy management and Smart-module technology can be added at any time
- Dynamic feed-in control

SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0

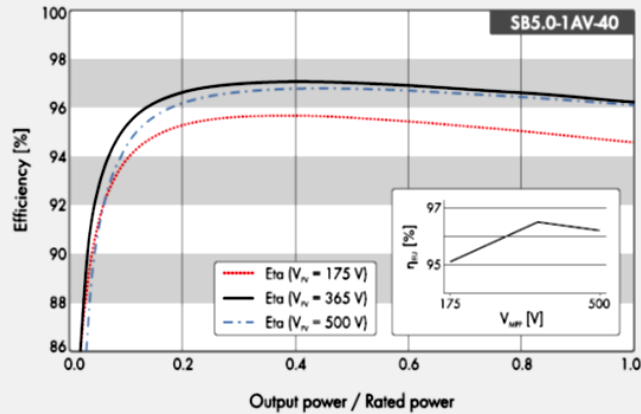
More than just an inverter. Smaller, simpler and more convenient with SMA Smart Connected

The new Sunny Boy 3.0 – 5.0 succeeds the globally successful Sunny Boy 3000 – 5000TL. It is more than just a PV inverter: with the integrated SMA Smart Connected service, it offers all-round comfort for PV system operators and installers alike. The automatic inverter monitoring by SMA analyzes operation, reports irregularities and thus minimizes downtime.

The Sunny Boy is ideally suited to solar power generation in private homes. Thanks to its extremely light design and location of the external connections, the device can be quickly installed and easily commissioned thanks to the intuitive webserver.

Current communication standards mean that intelligent energy management solutions as well as SMA storage solutions can be flexibly added to the inverter at any time.

Efficiency curve



Technical data	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.6	Sunny Boy 4.0	Sunny Boy 5.0
Input (DC)				
Max. generator power	5500 Wp	5500 Wp	7500 Wp	7500 Wp
Max. input voltage	600 V			
MPP voltage range	110 V to 500 V	130 V to 500 V	140 V to 500 V	175 V to 500 V
Rated input voltage	365 V			
Min. input voltage / initial input voltage	100 V / 125 V			
Max. input current input A / input B	15 A / 15 A			
Max. input current per string input A / input B	15 A / 15 A			
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2			
Output (AC)				
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	3000 W	3680 W	4000 W	5000 W ¹⁾
Max. apparent power AC	3000 VA	3680 VA	4000 VA	5000 VA ²⁾
Nominal AC voltage / range	220 V, 230 V, 240 V / 180 V to 280 V			
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz			
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V			
Max. output current	16 A	16 A	22 A ²⁾	22 A ²⁾
Power factor at rated power	1			
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited			
Feed-in phases / connection phases	1 / 1			
Efficiency				
Max. efficiency / European Efficiency	97.0% / 96.4%	97.0% / 96.5%	97.0% / 96.5%	97.0% / 96.5%
Protective devices				
Input-side disconnection point	●			
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●			
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / –			
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●			
Protection class (as per IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III			
General data				
Dimensions (W / H / D)	435 mm / 470 mm / 176 mm (17.1 inches / 18.5 inches / 6.9 inches)			
Weight	16 kg (35.3 lb)			
Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)			
Noise emission, typical	25 dB(A)			
Self-consumption (at night)	1.0 W			
Topology	Transformerless			
Cooling method	Convection			
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65			
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H			
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%			
Equipment				
DC connection / AC connection	SUNCLIX / AC connector			
Display via smartphone, tablet, laptop	●			
Interfaces: WLAN, Speedwire / Webconnect	● / ●			
Warranty: 5 / 10 / 15 years	● / ○ / ○			
Certificates and approvals (more available upon request)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438, G59/3, G83/2, DIN EN 62109 / IEC 62109, NEN-EN50438, RD1699, SI 4777, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, VFR 2014 IEC 61727, NRS 097-2-1			
Certificates and approvals (planned)				
Country availability of SMA Smart Connected	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK			
● Standard features ○ Optional features – Not available				
Data at nominal conditions Status: May 2017				
1) 4600 W / 4600 VA according to VDE-AR-N 4105				
2) AS 4777: 21.7 A				
Type designation	SB3.0-1AV-40	SB3.6-1AV-40	SB4.0-1AV-40	SB5.0-1AV-40